

объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

4817 / 2-81

28/9-81

P6-81-523

И.Адам, Н.М.Антоньева, В.Б.Бруданин,  
М.Будзынски, Ц.Вылов, В.А.Джаши,  
А.Жумамуратов, А.И.Иванов, В.Г.Калинников,  
А.Круглер, В.В.Кузнецов, Ли Зон Сик,  
Т.М.Муминов, А.Ф.Новгородов, Ю.Н.Подкопаев,  
З.Д.Шавгулидзе, В.Л.Чихладзе

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  
ИЗОТОПОВ С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ  $A=140$

Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./

1981

## I. ВВЕДЕНИЕ

Выполненные в последние годы исследования радиоактивного распада  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{140}\text{Pr}$  вместе с результатами, полученными в различных ядерных реакциях и в реакциях неупругого рассеяния частиц, привели к установлению детальных схем возбужденных уровней ядер  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Ce}$ .

Обширные экспериментальные сведения об уровнях  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Ce}$  позволили провести успешное теоретическое описание свойств этих ядер (например,  $^{7/1,2/}$ ). Почти во всех имеющихся теоретических работах описание основано на модели, в которой учитывается остаточное взаимодействие нуклонов сверх замкнутого остова ( $Z=50, N=82$ ). Сравнение результатов расчётов с экспериментом даёт возможность реалистически выбрать потенциал остаточного взаимодействия.

Ранее мы исследовали распад  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Pr}$   $^{3,4/}$ . В последующие годы появился ряд работ по изучению указанных ядер (см. обзор  $^{5/}$ ). Совершенствование спектрометрической аппаратуры дало возможность выявить некоторые слабые  $\gamma$ -переходы в  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Pr}$ . Сведения о таких переходах часто не согласуются между собой в работах разных авторов.

Наша работа была поставлена с целью:

- а) устранения наметившихся расхождений в сведениях о слабых  $\gamma$ -переходах в  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Ce}$ ;
- б) наиболее точного определения энергий и интенсивностей  $\gamma$ -переходов;
- в) поиска отдельных  $\gamma$ -переходов, высвечивающих некоторые известные из реакций уровни  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Ce}$ , возбуждение которых возможно при распаде  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Pr}$ .

Предварительные результаты нашей работы были опубликованы  $^{6/}$ .

## 2. РАСПАД $^{140}\text{Ba} \rightarrow ^{140}\text{La}$ .

### 2.1. Измерение спектров $\gamma$ -лучей

В качестве источников  $^{140}\text{Ba}$  использовались препараты, полученные из объединения "Изотоп" и разделённые на катионите Dowex (5 x 8) с применением  $\alpha$ -оксизобутирата аммония. В ряде случаев препараты подвергались разделению на электромагнитном масс-сепараторе.

Гамма-излучение  $^{140}\text{Ba}$  исследовалось при помощи спектрометров с  $\text{Ge(Li)}$ -детекторами различного объёма. Низкоэнергетическая часть

спектра изучена при помощи детекторов с объемом 0,5 и 0,8 см<sup>3</sup> при разрешении 550 эВ ( $\gamma$ 122 <sup>57</sup>Co). Более жесткое  $\gamma$ -излучение измерялось детекторами с объемом 38 и 100 см<sup>3</sup> с разрешением 1,9 кэВ (<sup>60</sup>Co). Методика измерения и обработки  $\gamma$ -спектров подробно описана в работе <sup>7/</sup>. Результаты наших исследований  $\gamma$ -излучения <sup>140</sup>Ba представлены в табл. I.

Обнаружены  $\gamma$ -лучи с энергиями 113,6 и 551,2 кэВ. Показано, что наблюдавшийся нами ранее <sup>3/</sup> пик 467,6 кэВ является пиком суммы находящихся в каскаде  $\gamma$ -лучей 162,7 и 304,9 кэВ. Такой пик не наблюдался в измерениях спектров  $\gamma$ -лучей, когда использовался фильтр из свинца толщиной 3 мм.

Исследование распада <sup>140</sup>Ba проведено после опубликования работы <sup>8/</sup>, где приведено новое значение энергии нормали  $E = 411,80441 \pm \pm 0,00108$  кэВ ( $411,8 - \text{I}^{98}\text{Ne}$ ). Поэтому для калибровки спектрометров использовались энергии  $\gamma$ -лучей <sup>192</sup>Ir и <sup>182</sup>Ta, взятые из <sup>8/</sup>. Полученные нами значения энергий  $\gamma$ -лучей <sup>140</sup>Ba являются в настоящее время наиболее точными. Отметим, что измеренное в <sup>9/</sup> с помощью кристалл-дифракционного спектрометра значение  $E_{\gamma} = 162,656 \pm 0,003$  кэВ заметно ниже нашего, а значение  $E_{\gamma} = 29,9653 \pm 0,0007$  кэВ по точности превосходит наше.

Сравнение полученных нами данных об интенсивностях  $\gamma$ -лучей <sup>140</sup>Ba с результатами работ <sup>10-14/</sup> показывает их хорошее согласие за исключением интенсивности  $\gamma$ -перехода 162,6 кэВ, величина которой у нас заметно выше. В низкоэнергетической части спектра кроме интенсивных  $\gamma$ -лучей с  $E_{\gamma} = 30$  кэВ мы наблюдали  $L_{\alpha, \beta}$ -лучи La и  $\gamma$ -кванты с  $E_{\gamma} = 13,85$  кэВ. Полученное отношение  $J_{\gamma 13} / J_{\gamma 30} = 0,082 \pm 0,014$  хорошо согласуется с величиной, измеренной в работе <sup>15/</sup> пропорциональным счётчиком.

Интенсивности  $\gamma$ -лучей <sup>140</sup>Ba в % на распад определены сравнением с интенсивностью  $\gamma$ -лучей дочернего <sup>140</sup>La. Спустя 1185 часов после химической очистки <sup>140</sup>Ba был измерен на спектрометре с Ge(Li)-детектором объемом 38 см<sup>3</sup> его спектр  $\gamma$ -лучей и сравнены интенсивности  $\gamma$ -лучей 537,3 кэВ и  $\gamma$ -лучей <sup>140</sup>La с  $E_{\gamma} = 487,0$  кэВ:  $J_{\gamma 537} / J_{\gamma 487} = 0,457 \pm 0,013$ . Учитывая временной фактор для соотношения активностей  $A( \text{I}^{40}\text{La} ) / A( \text{I}^{40}\text{Ba} ) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$  и принимая  $J_{\gamma 487} = 44,45 \pm 0,67$  % ( см. ниже ), находим  $J_{\gamma 537} = ( 23,44 \pm 1,03 )$  %. Это значение близко к результатам Дебертина и др. <sup>12/</sup> (  $24,39 \pm 0,22$  % ) и <sup>10, 11/</sup> но отличается от результата Гарвея и др. <sup>13/</sup> (  $25,7 \pm 0,6$  % ). Отметим, что наше прежнее измерение в <sup>3/</sup> с учётом временного фактора (ранее он был опущен) даёт  $J_{\gamma 537} = 22,92 \pm 1,15$  %.

## 2.2. Электроны внутренней конверсии ( ЭВК )

Спектры ЭВК измерены при помощи безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем <sup>16/</sup> и спектрометра на базе Si(Li)-

детектора, помещённого в однородное магнитное поле  $\nabla H$ . Разрешение бета-спектрометра с троядальным магнитным полем в наших опытах составляло  $\frac{\Delta H}{H} = 0,8 - 1,0 \%$  при светосиле  $T = 15 \%$ . Источники для измерений на бета-спектрометре изготавливались внедрением ионов  $^{140}\text{Ba}$  в тонкую алюминизированную майларовую подложку толщиной  $0,68 \text{ мг/см}^2$  при помощи электромагнитного масс-сепаратора. Использование таких источников позволило изучить структуру L-линий ЭВК переходов с энергией 13,85 и 30,0 кэВ (рис. 1 и 2).

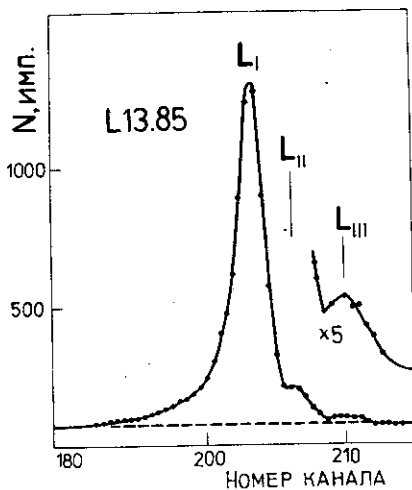


Рис. 1. Структура L-линий ЭВК перехода 13,85 кэВ  $^{140}\text{Ba}$ .

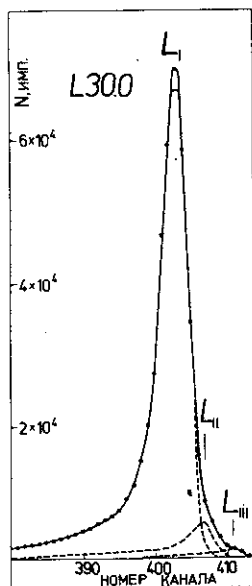


Рис. 2. Структура L-линий ЭВК перехода 30,0 кэВ  $^{140}\text{Ba}$ .

Спектр ЭВК с  $E_\gamma > 100 \text{ кэВ}$  измерен на спектрометре на базе Si(Li)-детектора при разрешении  $\sim 2 \text{ кэВ}$  (см. рис. 55 в работе [7]). Впервые получены интенсивности K- и L-линий ЭВК переходов II3,6; II8,9; 423,7 и 437,6 кэВ и уточнены результаты измерений [17] относительных интенсивностей K-линий ЭВК переходов с энергией 132,7; 162,7; 304,9 и 537,3 кэВ.

Полученные нами экспериментальные данные о ЭВК представлены в табл. I. Там же приведены установленные на основе наших измерений интенсивностей  $\gamma$ -лучей и ЭВК экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии и выводы о типах мультипольности переходов в ядре  $^{140}\text{La}$ .

Таблица I. Сведения о  $\gamma$ -переходах  $^{140}\text{Ba}$

$E_{\gamma}$ , кэВ	$I_{\gamma}$ , отн. ед.	Линия	$I_e$ отн. ед.	$\alpha_e$ , эксп.	$\lambda$
$LX(La)$	$32 \pm 6$				
$13,85 \pm 0,05$	$4,9 \pm 0,6$	L	$212 \pm 42$		$MI + (0,010 \pm 0,003)\% E2^a)$
		M	$46 \pm 9$		
		N	$12 \pm 2$		
$29,955 \pm 0,020$	$60 \pm 3$	L	$260 \pm 30$		$MI \pm \leq 0,008\%$ $E2^b)$
		M	$53 \pm 6$		
		N	$13 \pm 2$		
$Ka_{1,2}(La)$	$6,5 \pm 0,5$				
$K\beta_{1,2}(La)$	$1,60 \pm 0,15$				
$43,8$	$\leq 0,007$				
$113,550 \pm 0,030$	$0,077 \pm 0,016$	K	$0,048 \pm 0,010$	$0,62 \pm 0,25$	$MI + (E2)$
$118,905 \pm 0,022$	$0,27 \pm 0,03$	K	$0,155 \pm 0,016$	$0,57 \pm 0,11$	MI
$132,716 \pm 0,014$	$0,90 \pm 0,08$	K	$0,368 \pm 0,019$	$0,41 \pm 0,06$	MI
$162,672 \pm 0,002$	$26,5 \pm 0,8$	K	$6,72 \pm 0,34$	$\approx 0,24$	$MI + \leq 0,6\% E2^B)$
		L	$1,00 \pm 0,06$		
		M	$0,23 \pm 0,02$		
$215,0 \text{ д)}$	$\leq 0,004$				
$304,874 \pm 0,007$	$17,8 \pm 0,5$	K	$0,77 \pm 0,03$	$(4,33 \pm 0,31)$	$(-2) MI + \leq 1,0\% E2^Г)$
		L	$0,078 \pm 0,018$		
$418,5$	$\leq 0,04$				
$423,732 \pm 0,004$	$13,1 \pm 0,3$	K	$0,32 \pm 0,04$	$(2,50 \pm 0,38)$	$(-2) MI$
		L	$\sim 0,044$		
$437,589 \pm 0,009$	$7,80 \pm 0,25$	K	$0,18 \pm 0,02$	$(2,31 \pm 0,35)$	$(-2) MI$
$467,5$	$\leq 0,01$				
$537,311 \pm 0,003$	$\approx 100^X$	K	$1,29 \pm 0,04$	$(1,29 \pm 0,07)$	$(-2) MI$
		L	$0,19 \pm 0,02$		
$548,9 \text{ д)}$	$\leq 0,01$				
$551,2 \pm 0,5$	$0,027 \pm 0,009$	-	-		
$848,9 \text{ д)}$	$\leq 0,02$	-	-		

х)  $I$  отн. ед. =  $(0,234 \pm 0,012)\%$  на распад  $^{140}\text{Ba}$  (см. текст).

а) Из измеренного отношения  $L_{1,2}/L_{1,2} = (1000 \pm 33) : (106 \pm 11) : (31 \pm 8)$ .

б) Из измеренных отношений  $L_{1,2}/L_{1,2} = 13,75 \pm 3,44$  и  $L_{1,2}/L_{1,2} = 55,0 \pm 9,2$ .

в) Из работы /20/.

г) Из измерения  $\gamma$ - $\gamma$ -корреляций.

д) Возможные  $\gamma$ -переходы с известных из (13) реакции уровней  $^{140}\text{La}$  711, 796 и 912 кэВ /9/, если они возбуждаются при распаде  $^{140}\text{Ba}$ .

### 2.3. Измерение спектров $e\gamma$ -совпадений

Измерения спектров  $e\gamma$ -совпадений выполнены на установке /18/, созданной на базе безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем и спектрометра с  $\text{Ge(Li)}$  -детектором объёмом  $35 \text{ см}^3$ . Разрешающее время установки в наших опытах составляло  $2\tau = 50 \text{ нс}$ .

Обнаружены следующие каскады совпадений:

- ( I13,85)-(У30,0; У118,9; У304,8; У423,8 и У537,3),
- ( L30,0 )-(У118,9; У132,8; У304,8; У423,8; У437,6 и У537,3),
- ( К162,7)-(У304,9),
- ( К304,9)-(У30,0; У113,6; У118,8; У132,8 и У162,6) .

Наши результаты существенно дополняют данные работы /15/, в которой были наблюдаемы совпадения ( M13 )-( У423, У537 ) и ( L30 )-( У437, У537 ).

### 2.4. Исследование угловых $\gamma\gamma$ -корреляций

Измерения проведены на автоматизированной установке, связанной с ЭВМ и работавшей в режиме двумерного анализа с цифровыми окнами /19/. Гамма-лучи в одном

канале регистрировались  $\text{Ge(Li)}$  -детектором с объёмом  $45 \text{ см}^3$  и разрешением  $\sim 3 \text{ кэВ}$  ( $^{60}\text{Co}$ ), а в другом канале -сцинтилляционным спектрометром с кристаллом  $\text{NaJ(Tl)}$  размерами  $\phi 40 \times 40 \text{ мм}$  и ФЭУ-13. Энергетический отбор событий осуществлялся при помощи цифровых окон в спектре сцинтилляционного детектора. Временное разрешение установки составляло  $2\tau = 40 \text{ нс}$ .

Измеренные значения коэффициентов  $\gamma\gamma$ -угловых корреляций приведены в таблице 2. Анализ коэффициентов функций угловых корреляций проводился графическим методом Арнса-Виденбека (пример-рис.3). В предположении, что переход с энергией 162 кэВ типа

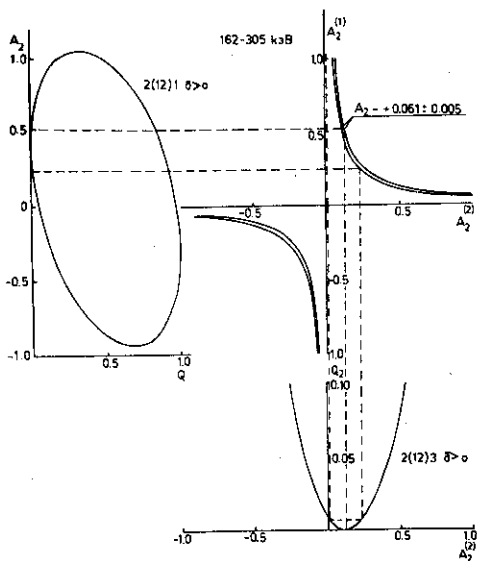


Рис.3. График Арнса-Виденбека для каскада I62 - 305 кэВ в  $^{140}\text{La}$ .

$M1 + \leq 0,6 \% E2 / 20 /$ , для перехода 304,9 кэВ получаем смесь мультипольностей  $M1 + \leq 1 \% E2$ ,  $\delta > 0$  при последовательности спинов 1 - 2 - 3. Этот вывод согласуется с результатом работы /15/, в которой также изучались угловые распределения  $\gamma$ -квантов 304 - 162 кэВ. В /15/ измерения выполнены при помощи  $NaI(Tl)$ -детекторов, но коэффициенты угловых корреляций измерены менее точно.

Таблица 2. Экспериментальные значения коэффициентов угловых корреляций в  $^{140}La$  и  $^{140}Ce$

Ядро	Каскады	$A_{22}$	$A_{44}$
$^{140}La$	305 - 162	$+ 0,061 \pm 0,005$	$+ 0,018 \pm 0,009$
$^{140}Ce$	328 - 487	$- 0,094 \pm 0,010$	$- 0,040 \pm 0,020$
	432 - 487	$+ 0,220 \pm 0,020$	$- 0,045 \pm 0,038$
	487 - 1596	$+ 0,100 \pm 0,005$	$+ 0,010 \pm 0,010$
	815 - 1596	$- 0,098 \pm 0,010$	$+ 0,005 \pm 0,019$

### 2.5. Измерение времени жизни состояния 30,0 кэВ в $^{140}La$ .

Измерение времени жизни выполнено при помощи многоканального временного анализатора /21/. Изучалось временное распределение совпадений конверсионных электронов L- и M30 с  $\gamma$ -лучами, заселяющими состояние 30 кэВ в  $^{140}La$ . Время жизни этого уровня определено по смещению центров тяжести кривых задержанных и мгновенных совпадений:  $T_{1/2} = 0,25 \pm 0,04$  нс. В работе /15/ для времени жизни уровня с энергией 30 кэВ дана оценка  $T_{1/2} \leq 0,42$  нс.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА $^{140}La \longrightarrow ^{140}Ce$ .

#### 3.1. Исследование $\gamma$ -излучения

Спектры  $\gamma$ -лучей  $^{140}La$  измерены при помощи тех же спектрометров, которые были использованы при исследовании  $\gamma$ -излучения  $^{140}Ba$ . Методика измерения и обработки спектров  $\gamma$ -лучей подробно описана в /7/.

В качестве источников  $^{140}La$  использовались препараты, химически выделенные из  $^{140}Ba$  и разделённые на электромагнитном масс-сепараторе.

Результаты исследования  $\gamma$ -излучения  $^{140}La$  представлены в таблице 3. Энергии  $\gamma$ -лучей были определены при измерении одновременно спектра  $^{140}La$  и калибровочных источников согласно методике, изложенной в работе /7/ ( в шкале с нормалью  $E_{\gamma} = 411,794 \pm 0,007$  кэВ (  $411,8 - ^{198}Hg$  ) ). Полученные нами значения энергий в области  $E_{\gamma} < 600$  кэВ не

уступают по точности результатам измерения значений  $E_{\gamma}$ , получаемым с помощью кристалл-дифракционного спектрометра /22/. Сравнение наших данных со значениями энергий  $E_{\gamma}$  /24, 25/, полученными также при измерениях на Ge(Li) - детекторах, указывает на то, что нами достигнута точность определения энергий более высокая, чем в этих работах.

Таблица 3. Энергии и относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей  $^{140}\text{La}$

$E_{\gamma \pm \Delta E_{\gamma}}$ , кэВ	$I_{\gamma \pm \Delta I_{\gamma}}$ , отн. ед.	$E_{\gamma \pm \Delta E_{\gamma}}$ , кэВ	$I_{\gamma \pm \Delta I_{\gamma}}$ , отн. ед.
24,595 $\pm$ 0,004 <sup>a)</sup>	$\leq$ 0,003	867,846 $\pm$ 0,020	5,56 $\pm$ 0,19
K $\alpha_1$ (Ce)	1,77 $\pm$ 0,06	919,550 $\pm$ 0,023	2,80 $\pm$ 0,09
K $\alpha_{1,2}$ (Ce)	0,36 $\pm$ 0,02	925,189 $\pm$ 0,021	7,10 $\pm$ 0,21
K $\beta_1$ (Ce)	0,089 $\pm$ 0,004	950,987 $\pm$ 0,026	0,56 $\pm$ 0,03
64,135 $\pm$ 0,010 <sup>b)</sup>	0,011 $\pm$ 0,004	992,9 $\pm$ 0,5	0,009 $\pm$ 0,003
68,916 $\pm$ 0,006 <sup>b)</sup>	0,080 $\pm$ 0,006	1045,05 $\pm$ 0,24	0,016 $\pm$ 0,004
109,422 $\pm$ 0,011	0,22 $\pm$ 0,01	1097,20 $\pm$ 0,23	0,022 $\pm$ 0,005
131,117 $\pm$ 0,008	0,48 $\pm$ 0,03	1303,46 $\pm$ 0,35	0,050 $\pm$ 0,007
173,543 $\pm$ 0,009	0,11 $\pm$ 0,01	1405,02 $\pm$ 0,17	0,068 $\pm$ 0,008
241,933 $\pm$ 0,030	0,46 $\pm$ 0,03	1596,210 $\pm$ 0,035	$\approx$ 100
266,543 $\pm$ 0,012	0,50 $\pm$ 0,03	1877,29 $\pm$ 0,19	0,042 $\pm$ 0,006
306,9 $\pm$ 0,2	0,020 $\pm$ 0,005	1903,5	$\leq$ 0,0014
328,762 $\pm$ 0,008	21,70 $\pm$ 0,40	1924,62 $\pm$ 0,13	0,006 $\pm$ 0,002
397,522 $\pm$ 0,046	0,070 $\pm$ 0,005	2083,2 $\pm$ 0,5	0,007 $\pm$ 0,002
432,493 $\pm$ 0,012	2,97 $\pm$ 0,15	2347,880 $\pm$ 0,053	0,89 $\pm$ 0,03
438,5 $\pm$ 0,5	$\leq$ 0,0014	2464,06 $\pm$ 0,45	0,0080 $\pm$ 0,0008
445,5 $\pm$ 0,5	0,0036 $\pm$ 0,0012	2521,397 $\pm$ 0,054	3,61 $\pm$ 0,09
487,021 $\pm$ 0,012	46,42 $\pm$ 0,76	2547,34 $\pm$ 0,11	0,109 $\pm$ 0,005
618,118 $\pm$ 0,047	0,014 $\pm$ 0,003	2899,61 $\pm$ 0,16	0,069 $\pm$ 0,003
751,637 $\pm$ 0,018	4,36 $\pm$ 0,16	3118,51 $\pm$ 0,16	0,028 $\pm$ 0,002
815,772 $\pm$ 0,019	23,51 $\pm$ 0,70	3320,4 $\pm$ 0,6	0,0045 $\pm$ 0,0004

- а) Измерено на безжелезном бета-спектрометре типа  $\mathcal{F}\sqrt{2}$  в /23/.  
 б) Измерено на кристалл-дифракционном спектрометре в /22/.

Для четырех наиболее интенсивных  $\gamma$ -переходов  $^{140}\text{La}$  даны в литературе следующие наиболее точные значения энергий  $E_{\gamma}$  ( в кэВ ), измеренные при помощи Ge(Li) - детекторов:

- 328,752 $\pm$ 0,030 - Гунник и др. /26/ (1968г.); 328,745 $\pm$ 0,015 - Керн /14/ (1970г.); 328,762 $\pm$ 0,008 - результаты настоящей работы;
- 487,032 $\pm$ 0,030 - Гунник и др. /26/; 486,995 $\pm$ 0,030 - Керн /14/; 487,021 $\pm$ 0,012 - результаты настоящей работы;



3.  $815,735 \pm 0,040$  - Керн <sup>/14/</sup>;  $815,772 \pm 0,019$  - настоящая работа;  
 4.  $1596,200 \pm 0,040$  - Гунник и др. <sup>/26/</sup>;  $1596,170 \pm 0,025$  - Керн <sup>/14/</sup>;  
 $1596,210 \pm 0,035$  - результаты настоящей работы.

Приведенные значения  $E_{\gamma}$  неплохо согласуются между собой.

После опубликования нашей ранней работы <sup>/4/</sup> за прошедшие 10 лет в период совершенствования спектрометрической аппаратуры было выполнено несколько работ, в которых либо детально исследовалось  $\gamma$ -излучение  $^{140}\text{La}$  ( во всей доступной при бета-распаде  $^{140}\text{La}$  области энергий <sup>/24-28/</sup>), либо с высокой точностью измерялись интенсивности его наиболее сильных  $\gamma$ -лучей <sup>/11-13,29,30/</sup>. Точность при определении  $I_{\gamma}$  самых интенсивных переходов составляла  $\sim 2\%$  в <sup>/11,25,30/</sup>,  $\sim 1\%$  в <sup>/13,29/</sup> и  $0,8\%$  - в <sup>/12/</sup>. В наших исследованиях Ge(Li) -детекторы были проградуированы по эффективности с точностью  $1,5\%$ . Отметим, что наши значения интенсивностей хорошо согласуются с результатами <sup>/25,30/</sup>. В то же время следует заметить, что значения  $I_{\gamma}$  в <sup>/12/</sup> при  $E_{\gamma} < 1$  МэВ систематически завышены.

Специально остановимся на вопросе наличия в распаде  $^{140}\text{La}$  ряда малоинтенсивных  $\gamma$ -переходов. В <sup>/27/</sup> отнесено к  $^{140}\text{La}$  несколько таких  $\gamma$ -переходов с энергиями (относительными интенсивностями):  $798,3(0,18 \pm 0,09)$ ,  $902,0(0,24 \pm 0,14)$ ,  $907,0(0,28 \pm 0,15)$ ,  $1416,0(0,2 \pm 0,1)$ ,  $1521,8(0,15 \pm 0,10)$ ,  $1877,3(0,075 \pm 0,025)$  и  $2494$  кэВ ( $0,080 \pm 0,016$ ). Наличие перехода  $1877,3$  кэВ мы подтверждаем, а для остальных переходов даём верхние пределы их интенсивностей:  $0,001; 0,003; 0,01; 0,005; 0,008$  и  $0,0015$  соответственно.

Наши исследования подтверждают принадлежность к распаду  $^{140}\text{La}$   $\gamma$ -переходов с энергиями  $1045,2; 1097,2; 1404,5$  и  $1924,2$  кэВ, обнаруженных в <sup>/24,28/</sup>, а также перехода с энергией  $1303,2$  кэВ, наблюдаемого в работе <sup>/25/</sup>. Особо остановимся на идентификации  $\gamma$ -переходов  $1877,3; 1924,2$  кэВ и обнаруженного в <sup>/30/</sup> перехода с  $E_{\gamma} = 2083 \pm 1$  кэВ. Интенсивность  $\gamma$ -перехода  $1877,3$  кэВ нами определена с учётом вклада пика двойного вылета  $\gamma 2899,6$ . Переходам  $1924,2$  и  $2083$  кэВ соответствуют пики сумм, находящихся с  $\gamma 1596,2$  в каскаде самых интенсивных переходов  $328,76$  и  $487,02$  кэВ. Измерения спектров  $\gamma$ -лучей, выполненные с применением фильтра из свинца толщиной  $3$  мм, позволили существенно подавить вклад от суммирования каскадных  $\gamma$ -лучей (почти не был замечен пик суммы каскадных  $\gamma$ -лучей  $815,8$  и  $1596,2$  кэВ) и оценить интенсивность  $\gamma$ -переходов  $1924,6$  и  $2083,2$  кэВ ( см. табл. 3).

Ранее <sup>/4/</sup> к распаду  $^{140}\text{La}$  нами были отнесены  $\gamma$ -лучи с  $E_{\gamma} = 438,5; 446,0; 936,9$  и  $2533,4$  кэВ. В настоящей работе тщательно изучены соответствующие этим переходам участки спектра  $\gamma$ -лучей. Мы смогли дать существенно меньший верхний предел интенсивности  $\gamma$ -лучей  $438$  кэВ,

уточнить  $\Gamma_{446}$  и показать, что проявившиеся ранее  $\gamma$ -лучи с энергией 936,9 и 2533,4 кэВ являются фоновыми от  $^{226}\text{Ra}$ . Верхние пределы интенсивности этих двух переходов:  $< 0,003$  и  $< 0,001$  соответственно.

### 3.2. Исследование спектров $\gamma\gamma$ -совпадений

Измерения спектров  $\gamma\gamma$ -совпадений выполнены при помощи спектрометра двухмерных совпадений /32/, созданного на базе ЭВМ HP-2110 С. Для регистрации  $\gamma$ -лучей использовались два  $\text{Ge(Li)}$ -детектора с объёмами 27 и 41 см<sup>3</sup> и разрешением  $\sim 3,0$  кэВ ( $^{60}\text{Co}$ ). Разрешающее время спектрометра составляло  $2\tau = 80$  нс. Спектры совпадений измерялись в диапазоне энергий  $\gamma$ -лучей от 100 до 1600 кэВ. Исследование  $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде  $^{140}\text{La}$  при помощи двух  $\text{Ge(Li)}$ -детекторов выполнено впервые.

В таблице 4 приведены значения интенсивностей совпадений  $\gamma$ -лучей, полученные путем анализа спектров  $\gamma\gamma$ -совпадений и предложенной нами схемы распада  $^{140}\text{La}$ - $^{140}\text{Ce}$ . Все величины экспериментальных и расчётных значений  $\Gamma_{\gamma\gamma}$  даны в единицах интенсивности совпадений ( $\gamma 815$ )-( $\gamma 1596$ ), принятой за 100 ед. На рис. 4 приведен спектр  $\gamma$ -лучей, обнаруживающих совпадение с  $\gamma$ -лучами энергии 1596 кэВ.

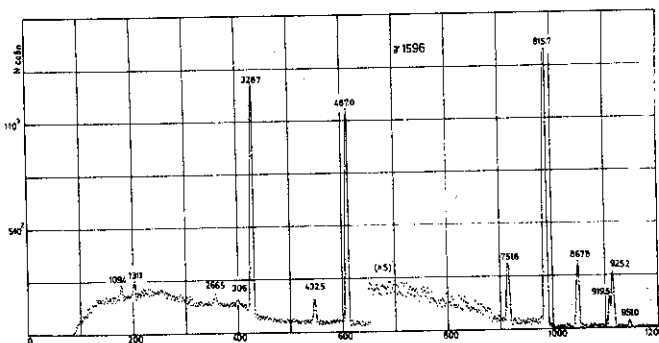


Рис. 4. Спектр совпадений  $\gamma$ -лучей с  $\gamma$ -лучами перехода 1596,2 кэВ.

По нашим данным,  $\gamma$ -лучи 398 кэВ совпадают с  $\gamma$ -лучами перехода 487 кэВ и не проявляются в совпадениях с  $\gamma 752$ , а  $\gamma 868$  и  $\gamma 920$  совпадают с  $\gamma 1596$  и не совпадают между собой.

### 3.3. Исследование угловых $\gamma\gamma$ -корреляций

Измерения проведены на той же установке, на которой измерялись угловые корреляции  $\gamma$ -лучей при распаде  $^{140}\text{Ba}$  /19/.

Как видно из табл. 4, установленные нами  $\gamma\gamma$ -совпадения количественно хорошо согласуются с расчётами. Отметим, что наши результаты не согласуются с выводами Айзенберга /33/, наблюдавшего совпадения ( $\gamma 868$ )-( $\gamma 920$ ) и ( $\gamma 398$ )-( $\gamma 2348$ ).

Таблица 4. Результаты анализа спектров  $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде  $^{140}\text{La}$

$E_{\gamma}$ , кэВ в совп.	$I_{\gamma\gamma}$ эксп.	$I_{\gamma\gamma}$ расч.	$E_{\gamma}$ , кэВ в совп.	$I_{\gamma\gamma}$ эксп.	$I_{\gamma\gamma}$ расч.
Совп. с $\gamma 109,4$			Совп. с $\gamma 751,6$		
328,8	$0,4 \pm 0,2$	0,45	173,5	$0,5 \pm 0,1$	0,39
487,0	$0,5 \pm 0,3$	0,43	1596,2	$16,0 \pm 3,0$	18,5
815,8	$0,6 \pm 0,2$	0,49	Совп. с $\gamma 815,8$		
1596,2	$1,3 \pm 0,6$	0,94	109,4	$0,6 \pm 0,1$	0,49
Совп. с $\gamma 131,1$			1596,2	100	100
241,9	$0,8 \pm 0,1$	0,98	Совп. с $\gamma 867,8$		
266,5	$0,8 \pm 0,1$	1,06	1596,2	$23 \pm 3$	23,7
487,0	(0,6)	1,00	Совп. с $\gamma 919,5$		
1596,2	$1,1 \pm 0,2$	1,00	1596,2	$11 \pm 2$	11,9
Совп. с $\gamma 173,5$			Совп. с $\gamma 1596,2$		
751,6	$0,5 \pm 0,2$	0,39	109,4	$1,5 \pm 0,6$	0,94
Совп. с $\gamma 241,9$			131,1	$1,8 \pm 0,7$	1,00
131,1	$0,9 \pm 0,1$	0,98	266,5	$2,0 \pm 0,8$	2,11
Совп. с $\gamma 266,5$			306,9	$0,2 \pm 0,1$	0,085
131,1	$0,6 \pm 0,1$	0,49	328,8	$85 \pm 9$	92,3
487,0	$1,6 \pm 0,3$	2,13	432,5	$13 \pm 3$	12,5
1596,2	$1,9 \pm 0,5$	2,13	487,0	$160 \pm 20$	197
Совп. с $\gamma 328,8$			751,6	$15 \pm 3$	18,5
109,4	$0,4 \pm 0,1$	0,43	815,8	$100 \pm 5$	100
487,0	$72 \pm 10$	91,2	867,8	$23 \pm 3$	23,7
1596,2	$86 \pm 8$	92,3	919,5	$11 \pm 2$	11,9
Совп. с $\gamma 487,0$			925,2	$24 \pm 5$	30,2
109,4	$0,4 \pm 0,2$	0,49	951,0	$2,0 \pm 0,8$	2,38
131,1	$0,9 \pm 0,2$	1,06	1003	$(0,30 \pm 0,15)$	0,20
266,5	$1,9 \pm 0,4$	2,12	1405	$(0,35 \pm 0,17)$	0,27
328,8	$81 \pm 8$	92,3			
397,5	$0,6 \pm 0,3$	0,30			
432,5	$10 \pm 1$	12,63			
1596,2	$182 \pm 20$	197			

Измеренные значения коэффициентов  $\gamma\gamma$ -угловых корреляций приведены в таблице 2. Анализ коэффициентов функций угловых корреляций проводился графическим методом Арнса-Виденбека (рис. 5) в предположении, что переход 1596 кэВ-Е2. Выводы о мультипольностях  $\gamma$ -переходов и знаках параметра смеси мультипольностей  $\delta$  приведены в таб-

лице 5. Наши выводы согласуются с результатами работ других авторов /34-36,25/. Для величины E2-компоненты в  $\gamma$ -переходе с энергией 432 кэВ наш резуль-

тат ближе к результату работы /25/, в то время как в работе /35, 36/ её вклад установлен слишком большим.

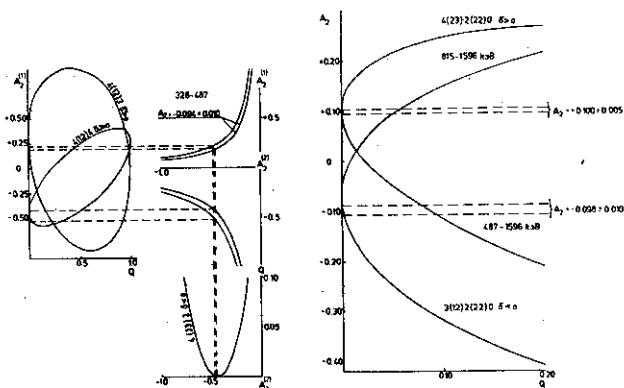


Рис. 5. Графики Арнса-Виденбека для каскадов 328-487 и 815-1596 кэВ в  $^{140}\text{Ce}$ .

Таблица 5. Мультипольности переходов, установленные путем измерений угловых корреляций в  $^{140}\text{Ce}$  и  $^{140}\text{La}$ .

Ядро	Энергия перехода, кэВ	Мультипольность	Знак $\delta$ а)
$^{140}\text{Ce}$	815	$M1 + (0,10 \pm 0,10)\%E2$	$<0$
	487	$E2 + (0,05 \pm 0,05)\%M3$	$<0$
	432	$\{M1 + (1,5 \pm 1,5)\%E2$ или	$>0$
		$\{M1 + (41,0 \pm 10,0)\%E2$	$>0$
	328	$M1 + (0,5 \pm 0,5)\%E2$	$<0$
$^{140}\text{La}$	305	$M1 + \leq 1,0\%E2$	$>0$

а) Определяется как  $\delta = \frac{\langle I_f \parallel L+1 \parallel I_i \rangle}{\langle I_f \parallel L \parallel I_i \rangle}$ .

4. РАСПАД  $^{140}\text{Pr} \longrightarrow ^{140}\text{Ce}$ .

4.1. Исследование  $\gamma$ -излучения  $^{140}\text{Pr}$

Особое внимание при исследовании  $\gamma$ -излучения  $^{140}\text{Pr}$  обращено на слабые по интенсивности переходы, так как в значениях их интенсивностей имеются некоторые расхождения по результатам нашей ранней работы /4/ и Якобса и др. /37/.

Измерения спектра  $\gamma$ -лучей проведены на спектрометре с  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором объемом  $37 \text{ см}^3$ , а также на антикомptonовском гамма-спектрометре. Как центральный детектор в антикомptonовском спектрометре использовался  $\text{Ge}(\text{Li})$ -кристалл с активным объемом  $35 \text{ см}^3$ . Его разрешени составляло  $2,3 \text{ кэВ}$  ( $^{60}\text{Co}$ ). Защитным детектором служил большой сцинтилляционный кристалл  $\text{NaJ}(\text{Tl})$  цилиндрической формы с размерами  $254 \times 200 \text{ мм}$ . Сцинтилляционный детектор вместе с фотоумножителями окружался со всех сторон защитным слоем из свинца толщиной  $100 \text{ мм}$ , внутренняя поверхность которого была покрыта  $\text{Cd}$  ( $1 \text{ мм}$ ) и  $\text{Cu}$  ( $1 \text{ мм}$ ). Активность  $^{140}\text{Nd}$  была получена при облучении гадолиниевой мишени протонами с  $E_p = 660 \text{ МэВ}$  в течение  $20$  часов. После химического выделения неодимовая фракция очищалась от дочерних изотопов и затем разделялась на изомеры при помощи масс-сепаратора. Из-за небольшой активности источника  $^{140}\text{Nd}$  измерения его  $\gamma$ -спектра были проведены не в лучшей геометрии, т.е. источник был помещен в "колодец" вблизи  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора.

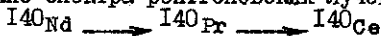
Полученные нами сведения о  $\gamma$ -лучах  $^{140}\text{Pr}$  приведены в таблице 6. Мы уточнили значение интенсивности  $306,9 \text{ кэВ}$ . Для некоторых  $\gamma$ -переходов, известных из данных о распаде  $^{140}\text{La}$ , мы смогли оценить лишь верхние пределы их интенсивностей. Для  $\gamma$   $2547,5$ ;  $\gamma$   $2900$  и  $\gamma$   $3320$  интенсивности установлены с большой погрешностью, и требуются дополнительные опыты для их уточнения. Специальное внимание было обращено на поиски  $\gamma$ -перехода между уровнем с  $I^\pi = 0^+$  ( $E = 3226 - 3233 \text{ кэВ}$ ), возбужденным в  $(p, t)$ -реакции  $^{138}\text{La}$ , и состоянием  $1596,2 \text{ кэВ}, 2^+$ . Тщательно изучался спектр  $\gamma$ -луче в районе  $E_\gamma = 1610 - 1640 \text{ кэВ}$  (область энергий возможного  $\gamma$ -перехода, идущего на уровень  $1596 \text{ кэВ}$ ). Такой переход не обнаружен, и в таблице дан верхний предел для его интенсивности.

#### 4.2. Исследование спектров ЭВК при распаде $^{140}\text{Pr}$

Спектр конверсионных электронов  $^{140}\text{Pr}$  нами изучен на магнитном бета-спектрометре типа  $2\pi\sqrt{2}$ . Источник изготавливался электролитическим осаждением неодимовой фракции на никелевую подложку с размерами  $0,5 \times 15 \text{ мм}^2$ . Полученные сведения об ЭВК даны в таблице 6. Впервые обнаружена K-линия ЭВК перехода  $3016,9 \text{ кэВ}$ . Уточнена интенсивность K-линии ЭВК перехода  $306 \text{ кэВ}$ . Для интенсивностей K-, L- и (M+N)-линии ЭВК перехода  $1903 \text{ кэВ}$  получено отношение  $(8,1 \pm 0,6) : 1 : (0,23 \pm 0,02)$ . Теоретическое отношение  $K/L$  для E0-перехода равно  $7,9 / 39$ . Отдельные участки спектра ЭВК  $^{140}\text{Pr}$  изображены на рис. 6.

#### 5. РАСПАД $^{140}\text{Nd} \longrightarrow ^{140}\text{Pr}$

##### 5.1. Исследование спектра рентгеновских лучей при распаде



Для установления энергии распада  $^{140}\text{Nd} \longrightarrow ^{140}\text{Pr}$  ранее было

Таблица 6. Энергии и относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей и ЭВК при распаде  $^{140}\text{Pr}$ .

Якобс и др. /37/		Данные настоящей работы		
$E_\gamma$ , кэВ	$I_\gamma$ , отн. ед.	$E_\gamma$ , кэВ	$I_\gamma$ , отн. ед.	$I_{\text{ЭВК}}$ , отн. ед.
306,9 $\pm$ 0,8	15,2 $\pm$ 3,1	306,9 $\pm$ 0,5	30,1 $\pm$ 3,0	1060 $\pm$ 200
511,0	20500 $\pm$ 2000	511,0	20500 $\pm$ 1500	
		618,2 <sup>a)</sup>	$\leq 0,14$	-
751,6 $\pm$ 0,5	7,8 $\pm$ 1,9	751,8 $\pm$ 0,5	6,4 $\pm$ 0,6	58 $\pm$ 6
		867,8 <sup>a)</sup>	$\leq 0,2$	
925,3 $\pm$ 0,3	5,0 $\pm$ 1,1	925,3 $\pm$ 0,5	5,2 $\pm$ 0,5	33 $\pm$ 4
		936 <sup>b)</sup>	$\leq 0,2$	
951,0	$< 0,02$	951,0 <sup>a)</sup>	$\leq 0,2$	
1420,6 $\pm$ 0,6	1,28 $\pm$ 0,3	1420,7 $\pm$ 0,5	1,3 $\pm$ 0,2	$\leq 1$
1596,2 $\pm$ 0,5	$\approx 100$	1596,1 $\pm$ 0,2	$\approx 100$	$\approx 100$
		1630 $\pm$ 5 <sup>b)</sup>	$\leq 0,08$	
		1903,5	$\leq 0,1$	(2,49 $\pm$ 0,05)10 <sup>4</sup>
2348,9 $\pm$ 0,5	1,28 $\pm$ 0,25	2347,8 $\pm$ 0,1	1,45 $\pm$ 0,15	1,08 $\pm$ 0,20
2522,5 $\pm$ 0,7	2,30 $\pm$ 0,40	2521,4 $\pm$ 0,5	2,62 $\pm$ 0,26	1,50 $\pm$ 0,30
		2533 $\pm$ 1	$\leq 0,03$	
2547	$\leq 0,03$	2547,5 $\pm$ 0,7	0,047 $\pm$ 0,023	
2900	$\leq 0,02$	2900 $\pm$ 1	0,04 $\pm$ 0,02	
3017	$\leq 0,01$	3016,3 $\pm$ 1,2	$\leq 0,008$	0,35 $\pm$ 0,15
3119,6 $\pm$ 1,5	0,17 $\pm$ 0,04	3119,0 $\pm$ 1,5	0,17 $\pm$ 0,02	
		3320 $\pm$ 2	0,011 $\pm$ 0,008	

а) Переходы известны из распада  $^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce}$ , проявление их не исключается при распаде  $^{140}\text{Pr}$ .

б) Переход отнесен к распаду  $^{140}\text{Pr}$  в работе /4/:  $I_{\gamma 936} = 0,7 \pm 0,2$ .

в) Предполагаемый  $\gamma$ -переход между уровнями 3226 кэВ, 0<sup>+</sup> и 1596,2 кэВ, 2<sup>+</sup>. Уровень 3226 кэВ, 0<sup>+</sup> известен из реакций ( $t, p$ ) и ( $p, t$ ) /38/.

определено ветвление  $K/\epsilon$  его электронного захвата путем измерения для равновесной смеси  $^{140}\text{Nd} \rightarrow ^{140}\text{Pr}$  соотношения чисел рентгеновских квантов K-серии  $K_{\alpha 1,2}(\text{Pr})/K_{\alpha 1,2}(\text{Ce})$ . Разрешение спектрометра рентгеновских лучей в  $^{140}$  составляло 590 эВ при  $E_\gamma \approx 40$  кэВ.

В настоящей работе мы заново измерили рентгеновский спектр  $^{140}\text{Nd} + ^{140}\text{Pr}$  с помощью спектрометра с Si(Li)-детектором (50мм<sup>2</sup> x 4мм), имевшего энергетическое разрешение 250 эВ для  $E_\gamma \approx 5,6$  кэВ. Обработка спектра K $\alpha$ -лучей производилась по программе "КАТОК" /7/. Для интенсивностей K $\alpha$ -линий Ce и Pr получено отношение  $K_{\alpha 1,2}(\text{Pr})/K_{\alpha 1,2}(\text{Ce}) = 1,87 \pm 0,03$ , что совпадает с прежним результатом работы /40/:  $(1,86 \pm 0,03)$ .

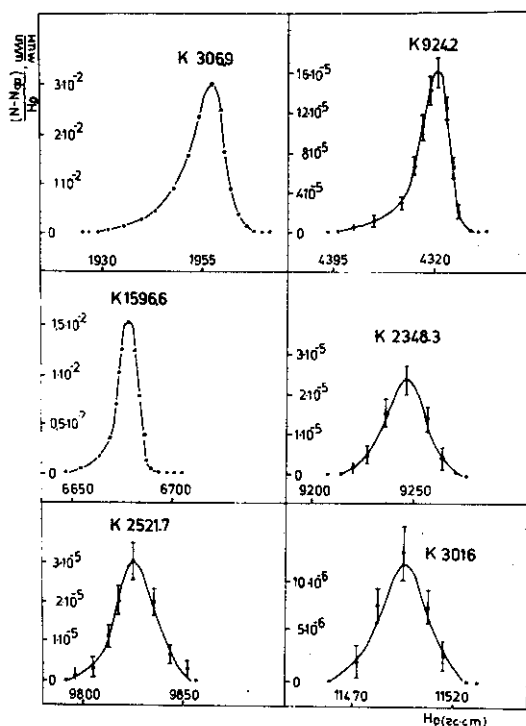
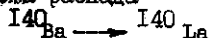


Рис.6. Участки спектра ЭВК, наблюдаемые при распаде  $^{140}\text{Pr}$ .

С уточненными интенсивностями  $\gamma$ -переходов рассчитан баланс интенсивностей в схеме распада  $^{140}\text{Ba} \rightarrow ^{140}\text{La}$  ( $Q_\beta = 1035 \pm 10$  кэВ<sup>5/</sup>) и определены заселенности уровней  $^{140}\text{La}$  путем бета-распада. С установленными вероятностями заселения при указанной величине  $Q_\beta$  вычислены значения  $g_{\beta} ft$  бета-переходов. Предложенные квантовые характеристики  $I^{\pi}$  для возбужденных уровней  $^{140}\text{La}$  согласуются с мультипольностями  $\gamma$ -переходов, величинами  $lg ft$  бета-переходов и с результатами измерений угловых  $\gamma\gamma$ -корреляций. В реакции ( $n, \gamma$ ) были наблюдаемы  $^{9/}$  уровни  $^{140}\text{La}$  с энергиями 711; 796 и 912 кэВ с  $I^{\pi} = 2^-$  или  $3^-$ . Как видно из табл. I, при распаде  $^{140}\text{Ba}$  эти уровни не заселяются, так как мы не наблюдали  $\gamma$ -переходов, высвечивающих данное состояние. Из оценки верхнего предела вероятности их заселения бета-распадом следует, что соответствующие величины  $g_{\beta} ft$   $> 10,2$  для бета-переходов на уровни 711 и 796 кэВ, а для бета-перехода на уровень 912 кэВ -  $g_{\beta} ft > 9,1$ . Из этих оценок невозможно сделать выбор между характеристиками  $2^-$  и  $3^-$ . В соответствии с представлениями модели оболочек самые нижние возбужденные состояния рассматриваются как члены

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

### 6.1. Схема распада



Предложенный ранее  $3/$  вариант схемы распада  $^{140}\text{Ba}$  дополнен введением двух новых  $\gamma$ -переходов - II3,55 и 55I,2 кэВ, которые высвечивают состояние 58I,125 кэВ (рис.7). Переход II3,55 кэВ между уровнями 58I,125 и 467,546 кэВ наблюдался в  $^{9/}$  в реакции  $^{139}\text{La} (d, p)$ . Мы отказываемся от введения в схему  $\gamma$ -перехода 467,5 кэВ, которым согласно  $^{3/}$  высвечивается состояние с энергией 467,546 кэВ.

Схема возбужденных состояний  $^{140}\text{La}$  подтверждается результатами  $e\gamma$ -совпадений.

протон-нейтронных мультиплетов. Для 57-го протона модель оболочек предсказывает состояние  $g\ 7/2$  или  $d\ 5/2$ , а для 83-го нейтрона — состояние  $f\ 7/2$ . Из этих чис-  
 тых состояний не-  
 возможно по прави-  
 лам Бреннана-Берн-  
 штейна сконструир-  
 овать наблюдаемые  
 характеристики  
 $I^{\pi}$  =  $3^-$ . Поэтому  
 для самых нижних  
 состояний  $^{140}\text{La}$   
 предложена модель  
 $9/2^-$ , в которой уров-  
 ни рассматривают-  
 ся как суперпози-  
 ция волновых функ-  
 ций:

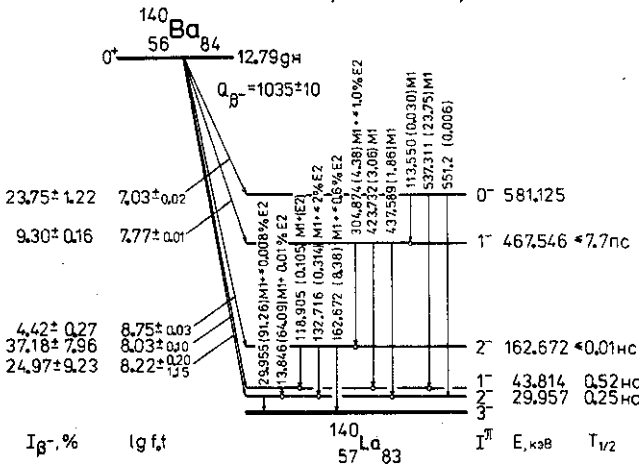


Рис. 7. Схема распада  $^{140}\text{Ba}$ .

$$|JM \rangle_1 = \alpha_1 |\sqrt{s} g_{7/2} \rangle_{f_{7/2}} ; |JM \rangle_2 = \beta_1 |\sqrt{s} d_{5/2} \rangle_{f_{7/2}} ; |JM \rangle_3 ,$$

$$|JM \rangle_4 = \alpha_2 |\sqrt{s} g_{7/2} \rangle_{f_{7/2}} ; |JM \rangle_5 = \beta_2 |\sqrt{s} d_{5/2} \rangle_{f_{7/2}} ; |JM \rangle_6 .$$

Для состояний с  $I^\pi = 0^-(581,125 \text{ кэВ})$  и  $I^\pi = 7^-(284,634 \text{ кэВ } / 9/2^-)$  амплитуда  $\beta = 0$ , а для остальных состояний с  $I^\pi = 1^- + 6^- \beta_{1\pm} = (1 - \alpha_{\pm}^2) I / 2$   $\alpha_2 = |\beta_{1+}|$  и  $|\beta_{2+}| = \alpha_{1-}$ . Согласно этой модели между членами рассматриваемого мультиплета должны отсутствовать E2-переходы. Действительно, мы не наблюдаем переходов 43,8 и 467,5 кэВ, а переход  $0^- \rightarrow 2^-$  с  $E_\gamma = 551,2 \text{ кэВ}$  является крайне слабым. Из известных времен жизни состояний 29,96 и 43,81 кэВ можно определить абсолютные вероятности M1-переходов. Переход 30 кэВ по составляющей M1 заторможен в 63 раза, а переход 13,85 кэВ — в 242 раза. Для объяснения наблюдаемых вероятностей можно предложить следующие структуры основного состояния и состояний 29,96 и 43,81 кэВ:

$$|g.s. \rangle = |\sqrt{s} g_{7/2} \rangle_{f_{7/2}} ; j = 3^- ,$$

$$|29,96 \text{ кэВ} \rangle = 0,80 |\sqrt{s} g_{7/2} \rangle_{f_{7/2}} ; j = 2^- \rangle + 0,60 |\sqrt{s} d_{5/2} \rangle_{f_{7/2}} ; j = 2^- \rangle ,$$

$$|43,81 \text{ кэВ} \rangle = 0,98 |\sqrt{s} g_{7/2} \rangle_{f_{7/2}} ; j = 1^- \rangle + 0,20 |\sqrt{s} d_{5/2} \rangle_{f_{7/2}} ; j = 1^- \rangle ,$$

6.2. Схема распада  $^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce} \leftarrow ^{140}\text{Pr}$ .

Схема уровней  $^{140}\text{Ce}$ , заселяемых при распаде  $^{140}\text{La}$ , дополнена

(рис. 8) уровнями 3520,6 и 3394,9 кэВ. Подтверждено существование уровней 3473,6 кэВ  $/27^-$  и 3001,2 кэВ  $/25^-$ . Не подтверждается нашими данными



ми существование уровня 2533,4 кэВ<sup>4/4</sup>. Практически все уровни обосновываются результатами измерений  $\gamma\gamma$ -совпадений. Полученные данные о  $\gamma$ -переходах  $^{140}\text{Pr} \rightarrow ^{140}\text{Ce}$  позволяют уточнить баланс интенсивностей в схеме распада  $^{140}\text{Pr} \rightarrow ^{140}\text{Ce}$  (рис. 8). Там же указаны величины  $\lg ft$  соответствующих бета-переходов. Верхний предел КВК перехода 3016,9 кэВ ( $\kappa < 1,4 \cdot 10^{-2}$ ) позволяет приписать ему мультипольность E0. Для уровня

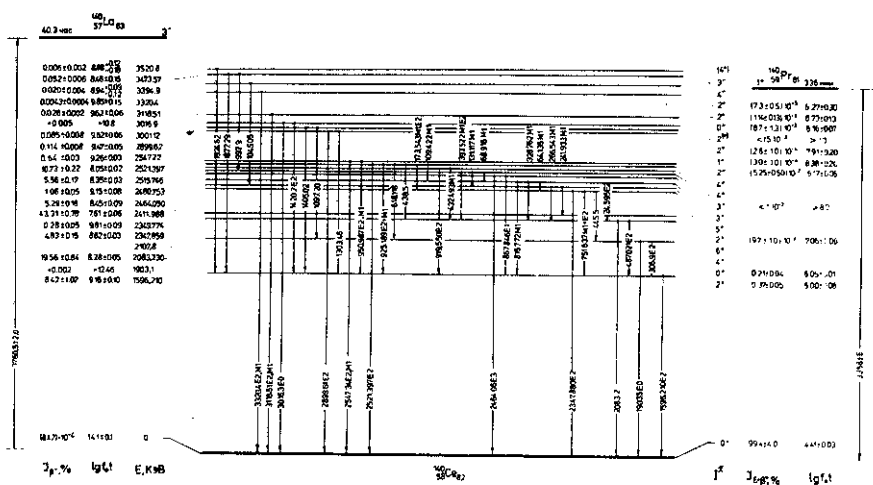


Рис. 8. Схемы распада  $^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce} \leftarrow ^{140}\text{Pr}$ .

3016,9 кэВ рассчитан параметр Расмуссена:  $X(B(E0)/B(E2)) = 0,004 \pm 0,002$ . Сравнение этого параметра с  $X = 0,051 \pm 0,008$  для уровня 1903 кэВ указывает на то, что эти состояния имеют разную природу. Кроме этих двух состояний с  $I^\pi = 0^+$  в  $^{140}\text{Ce}$  возбужден в реакции  $(p, t)^{38}/$  уровень 3233 кэВ. Однако путем распада  $^{140}\text{Pr}$  такое состояние не возбуждается ( $\beta^-$   $\gamma$ ). Остановимся на приписании характеристик отдельным уровням  $^{140}\text{Ce}$ . Уровню 2947,2 кэВ на основе результатов измерений угловых  $\gamma\gamma$ -корреляций  $^{25,36}/$  приписаны  $I^\pi = 1^+$ . В  $^{36}/$  выполнены измерения угловых  $\gamma\gamma$ -корреляций и поляризации  $\gamma$ -лучей, высвечивающих состояние 2349,77 кэВ, а также сделано заключение, что уровень имеет  $I^\pi = 5^-$ . Наши данные о совпадениях  $\gamma$  131,  $I_c$   $\gamma$  241,9 и  $\gamma$  266,0 свидетельствуют о том, что у уровня 2349,77 кэВ  $T_{1/2} < 80 \text{нс}$ , что противоречит выводу  $^{36}/$  о характеристиках  $I^\pi = 5^-$ . Мы по-прежнему считаем, что этот уровень имеет  $I^\pi = 5^-$ . Для уровней с энергией 2899,6 кэВ, 3118,5 кэВ и 3320,4 кэВ из совокупного рассмот-

рения их заселения  $\beta^-$ -распадом  $^{140}\text{La}$  ( $3^-$ ) и  $\beta^+$ -распадом  $^{140}\text{Pr}$  ( $1^+$ ) следует  $2^+$ . Ранее <sup>/4/</sup> для них предполагались характеристики  $1^+$  или  $2^+$ . Опыты по неупругому рассеянию электронов ядрами  $^{140}\text{Ce}$  привели к выводу <sup>/41/</sup> том, что спин и четность указанных трех уровней -  $2^+$ . Состоянию  $3001, \text{кэВ}$  по величине  $lgft$   $\beta^-$ -перехода мы приписали  $1^{\pi=2(+)}$ . По-видимому, это же состояние наблюдается в реакции  $(d, ^3\text{He})$  <sup>/42/</sup>. Два состояния с энергиями  $3394,9$  и  $3473,6$   $\text{кэВ}$  соответствуют уровням  $3402 \pm 10$  и  $3478 \pm 10$   $\text{кэВ}$ , обнаруженным в опытах по резонансному рассеянию протонов ядрами  $^{140}\text{Ce}$  и отнесенным к мультиплету  $\nu_1 d_{3/2}^{-1} \nu_2 f_{7/2}$  <sup>/38/</sup>. Состояние  $3396$   $\text{кэВ}$  было возбуждено и в реакции  $(\alpha, 2n)$  <sup>/46/</sup>. Введенный нами уровень  $3520,8$   $\text{кэВ}$ ,  $1^{\pi=}$  ( $4^+$ ), по-видимому, был возбужден и в реакции  $(\alpha, \alpha')$  <sup>/43/</sup> ( $E^* = 3540 \pm 35$   $\text{кэВ}$ ,  $1^{\pi=}$  ( $4^+$ )). Все наблюдаемые при распаде  $^{140}\text{La}$  и  $^{140}\text{Pr}$  уровни  $^{140}\text{Ce}$  удаётся описать относящимися к мультиплетам либо двухквазипротонных состояний (с включением орбиталей  $1g_{7/2}, 2d_{5/2}, 3s_{1/2}, 2d_{3/2}$  над замкнутым остовом  $Z=50$ ), либо двухквази нейтронных состояний (разрыв пары в нейтронной системе  $N=82$ ). Отдельные состояния (например, уровень  $2464$   $\text{кэВ}$ ,  $1^{\pi=}$  ( $3^-$ )) имеют сильно коллективизированный характер.

### 6.3. Распад $^{140}\text{Nd}$

При вычислении ветвления  $K/\epsilon$  электронного захвата в  $^{140}\text{Nd}$  с использованием полученного отношения  $K_{\alpha}(\text{Pr})/K_{\alpha}(\text{Ce})$  необходимо знать вероятность  $K$ -захвата в дочернем  $^{140}\text{Pr}$ . Принимая для вероятности электронного захвата  $^{140}\text{Pr}$  значение из работы <sup>/44/</sup>  $P_{\epsilon} = (50, 3 \pm 2, 0)\%$  и соответственно  $P_K = (43, 27 \pm 1, 78)\%$ , находим вероятность  $P_K(^{140}\text{Nd}) = (0, 809 \pm 0, 046) P_{\epsilon}$ . По данной величине для энергии распада  $^{140}\text{Nd}$  получаем  $Q_{\epsilon} = 255 \pm 245$   $\text{кэВ}$ . Этот результат согласуется с величиной разности масс  $^{140}\text{Nd} \rightarrow ^{140}\text{Pr}$   $470 \pm 40$   $\text{кэВ}$ , измеренной в реакции  $^{141}\text{Pr} (p, 2n)$  <sup>/45/</sup>. Бета-переход  $^{140}\text{Nd} \rightarrow ^{140}\text{Pr}$  будет характеризоваться величиной  $lgft = 5, 5 \pm 0, 1$ . На основе величин  $lgft$  бета-переходов  $^{140}\text{Nd} \rightarrow ^{140}\text{Pr}$  и  $^{141}\text{Pr} \rightarrow ^{141}\text{Nd}$  ( $lg ft = 5, 4 \pm 0, 2$ ) можно найти <sup>/40/</sup> отношение плотностей дырок  $U_p^2$  и частиц  $\nu_p^2$  на уровне  $d_{5/2}$ :  $\nu_p^2(60, d_{5/2}) = 0, 88 \pm 0, 44$  и  $U_p^2(60, d_{5/2}) = 0, 12 \pm 0, 44$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Struble G. L., Phys. Rev., 1967, 153, p. 1347.
2. Lombard R. J., Nucl. Phys., 1968, A117, p. 365; Wildenthal B. H., Phys. Rev. Lett., 1969, 22, p. 1118.
3. Калинин В. Г., Рави Х. Л., Изв. АН СССР, сер. физ., 1969, 33, с. 1389.
4. Калинин В. Г. и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 1970, 34, с. 916.

5. Peker L.K. et al., Nucl. Data Sheets, 1974, 12, p. 343 and 1979, 28, p. 267.
6. Бутнев В.С. и др., Progr. и тезисы докл. XXIV совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", Л., 1974, с. 92; Аврамов С.Р. и др., Progr. и тезисы докл. XXV совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", Л., 1975, с. 99; Вылов Ц. и др., Тезисы докл. XXVII совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", Л., 1977, с. 67.
7. Кн: Спектры излучения радиоактивных нуклидов, под ред. Громова К.Я., "ЭАН", Ташкент, 1980.
8. Helmer R.J. et al., Nucl. Instr. and Meth., 1978, 155, p. 189.
9. Journey E.T. et al., Phys. Rev., 1970, C2, p. 2323.
10. Martin M.J., Blichert-Toft P.H., Nucl. Data Tables, 1970, A8, p. 1.
11. Lin C.C., J. Inorg. Nucl. Chem., 1976, 38, p. 1409.
12. Debertain K., Schotzig U., Walz K., Nucl. Sci. Eng., 1977, 64, p. 784.
13. Harvey J.T. et al., Nucl. Sci. Eng., 1975, 58, p. 431.
14. Kern J., Nucl. Instr. and Meth., 1970, 79, p. 233.
15. Burde J., Rakavy M., Adam G., Nucl. Phys., 1965, 68, p. 561.
16. Громов К.Я. и др., В кн: Прикл. ядерн. спектроскопия, Атомиздат, М., 1978, 8, с. 59.
17. Воинова И.А., Progr. и тезисы докл. XXV совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", Л., 1975, с. 99.
18. Кузнецов В.В. и др., В кн: Прикл. ядерн. спектроскопия, Атомиздат, М., 1980, 10, с. 269.
19. Будзински М. и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 1974, 38, с. 2494.
20. Gellately W. and Geiger J.S., Report AECL-2659, 1966, p. 32.
21. Морозов В.А., Муминов Т.М., ИТЭ, 1970, 2, с. 53.
22. Baer H.W., Reidy I.J., Wiedenbeck M.L., Nucl. Phys., 1966, 86, p. 332.
23. Karlsson S.E. et al., Nucl. Phys., 1967, A100, p. 113.
24. Heath R.L., Gamma-Ray Spectrum Catalogue, ANCR-1000-2, 1974.
25. Kaur R. et al., J. Phys. Soc. Jpn., 1980, 49, p. 2122.
26. Gunnik R. et al., Nucl. Instr. and Meth., 1968, 65, p. 26.
27. Ardisson G. and Marsol C., Rev. Roum. Phys., 1971, 16, p. 1045.
28. Gehrke R.J., U.S. AEC report ANCR-1088, 1972, p. 392.
29. Gehrke R.J. et al., Nucl. Instr. and Meth., 1977, 147, p. 405.
30. Ardisson G., Nucl. Instr. and Meth., 1978, 151, p. 505.
31. Hauser A. et al., Report KFK-2461, Karlsruhe, 1977.
32. Андерт К. и др., ОИЯИ, Р6-8564, Дубна, 1975.
33. De Aisenberg E.Y., Proto-Otero A.N., Report CNEA-275, 1970.
34. Wiedenbeck B.H. and Raeside D.E., Nucl. Phys., 1971, A176, p. 381.
35. Saxena R.N. and Sharma H.D., Phys. Rev., 1973, C7, p. 395.
36. Garcia-Bermudez G., Filevich A., Behar M., Phys. Rev., 1976, C13, p. 2461.
37. Jacobs E., de Frenne D., Uyttenhove J., Z. Phys., 1970, 235, p. 395.

38. Sherman J.D. et al., Phys. Rev., 1972, C6, p. 1082; Phys. Rev., 1977, C15, p. 903.
39. Hager R.S. and Seltzer E.C., Nucl. Data, 1968, A4, p. 1.
40. Байер Г.-Ю. и др., Изв. АН СССР, сер. Физ., 1972, 36, с. 782.
41. Pitthan R., Z. Naturforsch., 1970, 25a, p. 1358.
42. Jones W.P. et al., Phys. Rev., 1971, C4, p. 1927.
43. Baker F.T., Tickle R., Phys. Rev., 1972, C5, p. 182.
44. Campbell M., Ledigham K., Baillie A., Nucl. Phys., 1977, A283, p. 413.
45. Russo P.A., Vandenbosch R., Nucl. Phys., 1970, A159, p. 153.
46. Celler A. et al., JYFL, Ann. Report, 1977, p. 45.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июля 1981 года.