

18/18-72

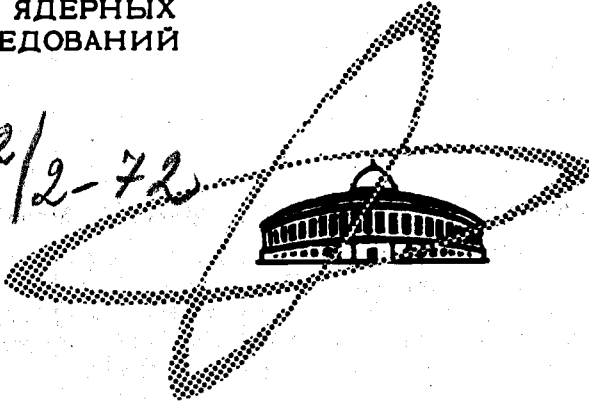
B-926

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

3182/2-72

P6 - 6511



Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков,  
В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев,  
М.И.Фоминых

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА <sup>149</sup>Ть

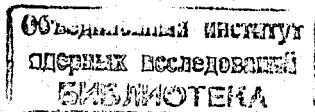
1972

P6 - 6511

Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков,  
В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев,  
М.И.Фоминых

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА <sup>149</sup>Ть

Направлено в Известия АН СССР, сер.физ.



## 1. Введение

В настоящей работе исследовались возбужденные состояния  $^{149}\text{Gd}$ , возникающие при распаде  $^{149}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 4,1$  час). Распад  $^{149}\text{Tb}$  исследовался ранее авторами работ /1-11/. Расмуссен и др. /1,2/ при облучении гадолиния протонами с  $E_p = 32-200$  Мэв и европия альфа-частицами с  $E_\alpha = 60$  Мэв наблюдали активность, спадающую с периодом полураспада  $T_{1/2} = 4$  часа, принадлежащую распаду  $^{149}\text{Tb}$ . Позднее Тот и Расмуссен /3/ обнаружили гамма-лучи с энергией 165 и 352 кэв, сопровождающие распад  $^{149}\text{Tb}$ . Первые варианты схемы распада  $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$  были предложены авторами работ /7,9/. Были введены два уровня  $^{149}\text{Gd}$  с энергией 165,5 и 352,0 кэв.

В работе /11/ проводилось исследование спектров гамма-лучей, конверсионных электронов и позитронов при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Авторами /11/ введены уровни  $^{149}\text{Gd}$  с энергиями 0 ( $7/2^-$ ); 164,5 ( $5/2^-$ ); 352,0 ( $3/2^-$ ); 817,0; 1028,0; 1206,0; 1436,0 и 1593,0 кэв. В этой работе приведены оценки вероятностей заселения уровней  $^{149}\text{Gd}$  при бета-распаде  $^{149}\text{Tb}$ . По  $\alpha-\beta$  -циклу оценено значение разности масс  $^{149}\text{Tb} - ^{149}\text{Gd}$ , оно оказалось равным  $3735 \pm 50$  кэв. Период полураспада  $^{149}\text{Tb}$  наиболее точно определен в работах /12,13/:  $(4,10 \pm 0,05)$  часа.

В настоящей работе продолжено исследование спектров гамма-лучей и конверсионных электронов при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Спектр гамма-лучей исследовался с помощью полупроводниковых  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов /14/, спектры конверсионных электронов - с помощью полупроводникового  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора /25/, бета-спектрографов /16/ с однородным полем и бета-спектрометра с двукратной фокусировкой на угол  $\pi\sqrt{2}$  /17/. Исследовались также спектры гамма-гамма-совпадений с помощью двухмерного анализатора /18/ с двумя  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами на базе вычислительной машины "Минск-2". Предварительные результаты анализа спектров гамма-гамма-совпадений при распаде  $^{149}\text{Tb}$  опубликованы в /19/.

## 2. Экспериментальная часть

### а) Приготовление источников $^{149}\text{Tb}$

Радиоактивные изотопы тербия получались при расщеплении тантала протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований. Мишени облучались на внутреннем пучке в течение 0,2-2 часов. Образовавшиеся изотопы редких земель разделялись по элементам хроматографическим методом /20/ через два-три часа после конца облучения. Для исследований спектров конверсионных электронов с помощью магнитных бета-спектрографов и бета-спектрометра полученный препарат тербия электролитически /21/ наносился на платиновую или никромовую проволоку диаметром 0,1 мм. Для исследований на спектрометрах с полупроводниковыми детекторами (гамма-спектры, спектры совпадений, спектры конверсионных электронов) использовались моноизотопные источники  $^{149}\text{Tb}$ , полученные при разделении тербия по изотопам на масс-сепараторе /22/.

б) Исследование спектров конверсионных электронов

Спектры конверсионных электронов в области энергий до 1000 кэВ исследовались с помощью бета-спектрографов /16/ с однородным магнитным полем и с помощью спектрометра с использованием  $Si(Li)$  - детектора /15/ и амплитудного анализатора АИ-4096. Толщина чувствительного слоя  $Si(Li)$  - детектора 2,5 мм, площадь - 80 мм<sup>2</sup>, разрешение 2,5 кэВ на линии К-121 <sup>152</sup>Eu. Спектр конверсионных электронов <sup>149</sup>Tb в области энергий выше 1000 кэВ исследовался с помощью бесфонового бета-спектрометра с двукратной фокусировкой пучка электронов на угол  $\pi\sqrt{2}$  /17/. Разрешение бета-спектрометра при измерении спектров конверсионных электронов составляло  $R \approx 0,2\%$  при светосиле  $T \approx 0,2\%$ . Результаты исследования спектра конверсионных электронов сведены в таблицу 1.

в) Исследование спектра гамма - лучей <sup>149</sup>Tb

Спектр гамма-лучей <sup>149</sup>Tb исследовался с помощью полупроводниковых  $Ge(Li)$  -детекторов с чувствительными объемами: 0,5 см<sup>3</sup> (разрешение 660 эВ при  $E_\gamma = 25$  кэВ и 1,7 кэВ при  $E_\gamma = 1332$  кэВ <sup>60</sup>Co), 8,2 см<sup>3</sup> (разрешение 1,5 кэВ при  $E_\gamma = 121$  кэВ <sup>152</sup>Eu и 2,5 кэВ при  $E_\gamma = 1332$  кэВ <sup>60</sup>Co) и 38 см<sup>3</sup> (разрешение  $\approx 4,0$  кэВ при  $E_\gamma = 1332$  кэВ <sup>60</sup>Co). На рис. 1, 2 и 3 показаны спектры гамма-лучей <sup>149</sup>Tb, измеренные с помощью  $Ge(Li)$  -детекторов с чувствительными объемами 0,5 и 38 см<sup>3</sup>. Спектры гамма-лучей <sup>149</sup>Tb в области больших энергий (рис. 2 и 3) измерялись с применением фильтра-поглотителя (3 мм Pb + 0,5 мм Cd + 0,5 мм Cu). В таблице 2 даны экспериментальные данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей при распаде <sup>149</sup>Tb. Указанные в таблице ошибки определения относительных интенсивностей не включают в

Таблица I. Энергии и относительные интенсивности  
конверсионных электронов в  $^{149}\text{Gd}$

№ пп	E перех. кэв	Данные настоящей работы				Ie /9/
		Иденти- фикация	Ie*	Ie**	Ie***	
I	2	3	4	5	6	7
1.	98,43±0,20	K			57±28	
2.	164,98±0,02	K		1080±20	1300±300	1200
		L <sub>I</sub>	}	262±10	135±15	
		L <sub>II</sub>			70±10	
		L <sub>III</sub>			54±7	
		M		97±4		
3.	187,20±0,03	K		136±5	120±20	70
		L		25±1		
		M		8±1		
4.	352,3±0,1	K	100	100	100	100
		L		24±1		
		M		7±1		
5.	388,4±0,5	K	126±26	90±3	100±20	80
		L		13±1		
		M		4±1		
6.	464,45±0,05	K	16,3±1,6	17±1	18±5	15
		L		3,1±0,5		
		M		0,8±0,3		
7.	652,0±0,2	K	15,0±1,5	18±1	20±5	15
		L		2,3±0,3		
		M		0,8±0,3		
8.	674,4±0,2	K		<0,3		
9.	772,5±0,2	K		<0,3		

продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7
10.	793,4±0,9	К		<0,5		
11.	816,8±0,2	К	5,4±0,5	4,3±0,5	4,0±1,0	
12.	853,3±0,4	К	5,8±0,6	5,3±0,2	4,8±1,0	
13.	861,7±0,4	К	0,9±0,2	0,8±0,2	1,2±0,3	
14.	955,7±0,4	К	0,10±0,04			
15.	965,8±0,4	К	0,15±0,05			
16.	1033,8±0,4	К	0,21±0,04			
17.	1040,0±0,3	К	0,45±0,05	~0,5		
18.	1132,3±0,3	К	0,45±0,14			
19.	1136,2±0,3	К	0,54±0,16			
20.	1167,2±0,3	К	0,39±0,12			
21.	1175,8±0,3	К	1,22±0,12	1,1±0,3		
22.	1341,4±0,3	К	0,20±0,08			
23.	1640,3±0,2	К	0,35±0,05			
24.	1827,5±0,3	К	0,17±0,04			
25.	2008,5±0,3	К	0,05±0,01			
26.	2963,9±0,2	К	0,04±0,01			

- Примечания: \* Конверсионные электроны исследовались с помощью бета-спектрометра с двукратной фокусировкой на угол  $\pi\sqrt{2}$ .
- \*\* Конверсионные электроны исследовались с помощью спектрометра с  $Si(Li)$ -детектором с толщиной чувствительного слоя 2,5 мм и площадью  $S \approx 80 \text{ мм}^2$ .
- \*\*\* Конверсионные электроны исследовались с помощью бета-спектрографов с однородным магнитным полем.

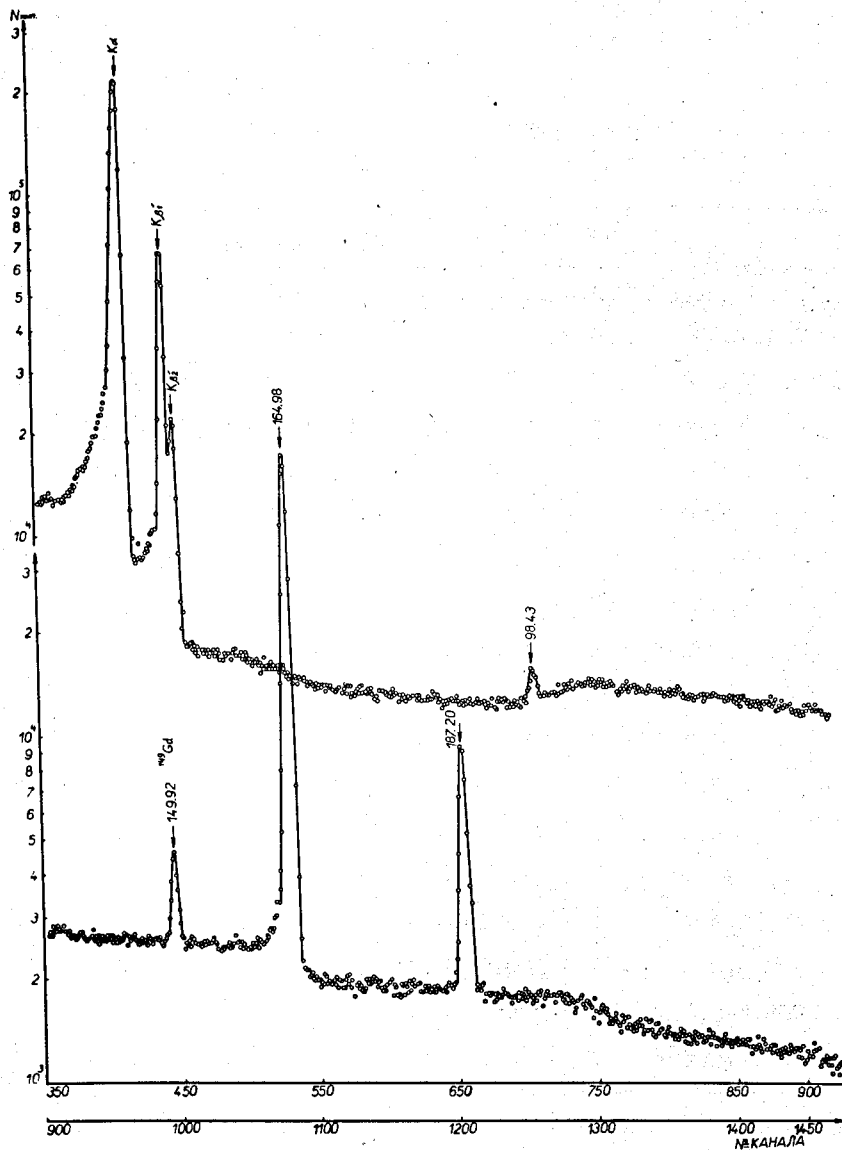


Рис. 1. Участок спектра гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  в области малых энергий, измеренный с помощью спектрометра с  $\text{Ce}(\text{Li})$ -детектором  $0,5 \text{ см}^3$ .



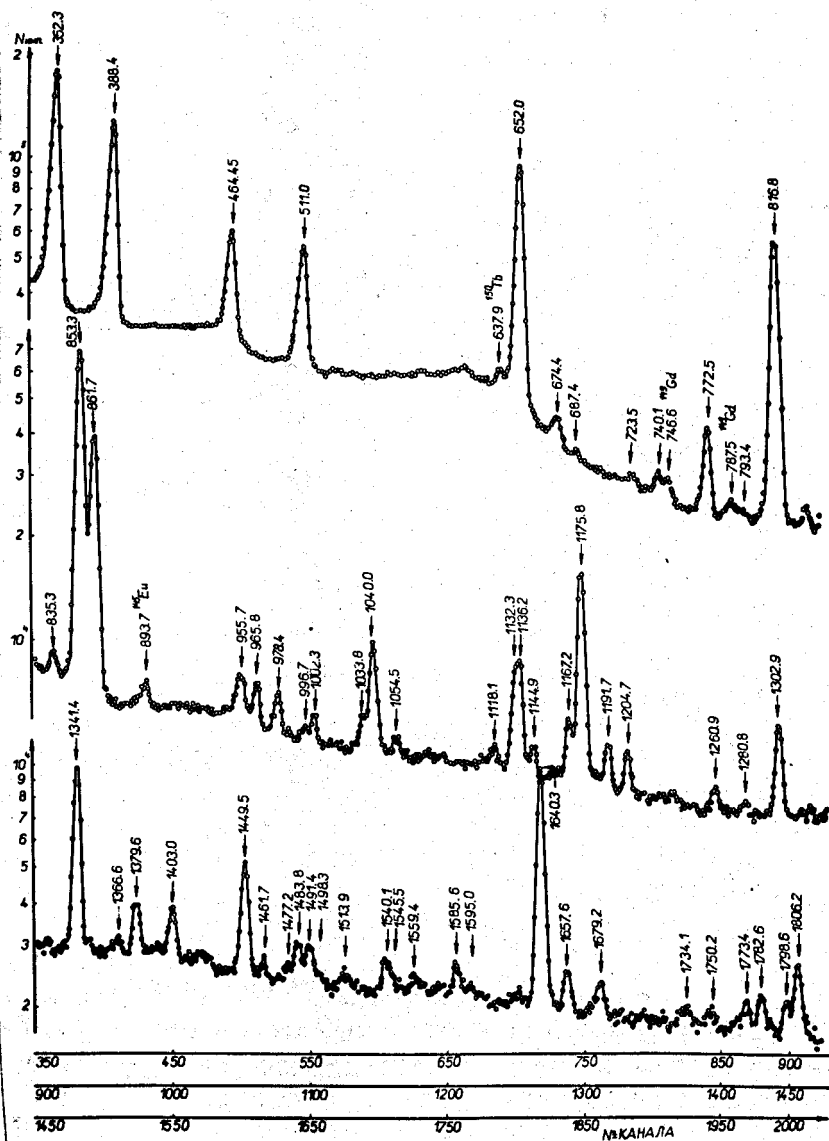


Рис. 2. Участок спектра гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  в области энергий 350 + 1810 кэв, измеренный с помощью спектрометра с  $\text{Ce}(\text{Li})$ -детектором  $38 \text{ см}^3$ . Измерения спектра гамма-лучей проводились с использованием фильтра - поглотителя (3 мм  $\text{Pb}$  + 0,5 мм  $\text{Gd}$  + 0,5 мм  $\text{Cu}$ ).

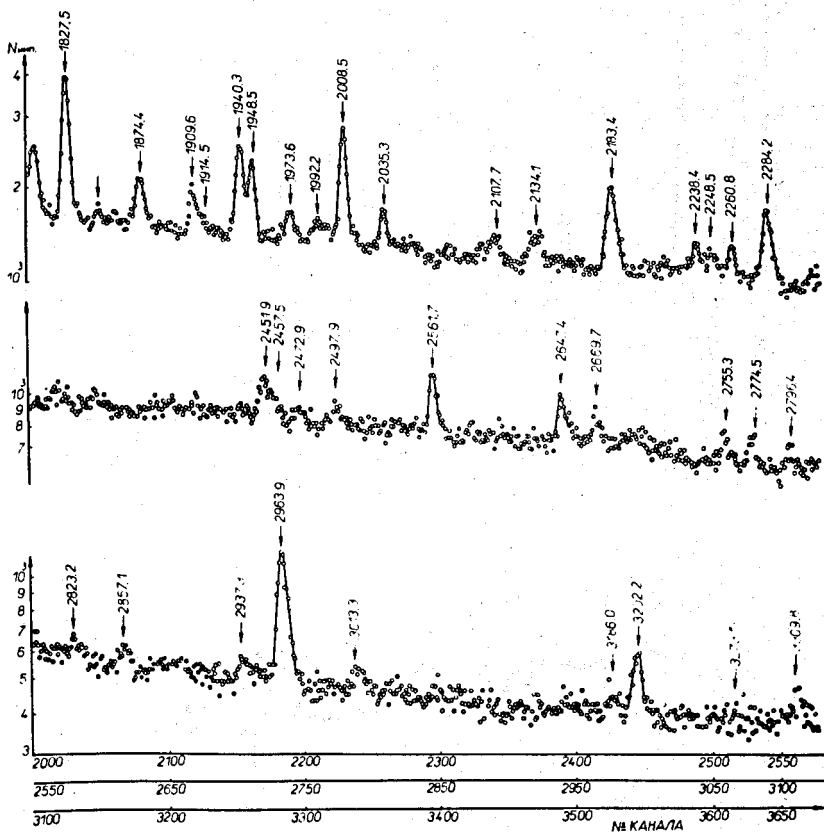


Рис. 3. Участок спектра гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  в области энергий 1810 + 3920 кэВ, измеренный с помощью спектрометра с  $\text{Ge}(\text{Li})$  -детектором 38 см<sup>3</sup>. Измерения спектра гамма-лучей проводились с использованием фильтра-поглотителя (3 мм  $\text{Pb}$  + 0,5 мм  $\text{Cd}$  + 0,5 мм  $\text{Cu}$ ).

себя погрешности, обусловленные неточностью в определении эффективности регистрации гамма-лучей. Эффективность регистрации гамма-излучения детекторами определялась с помощью калибровочных источников  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ . Обработка гамма-спектров проводилась с помощью электронно-вычислительной машины "Минск-2" с использованием светового карандаша /23/ и программы "КАТОК" /24/. При определении энергий гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  в качестве градуировочных использовались энергии гамма-лучей  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{56}\text{Co}$ . Энергии переходов в области малых энергий определены с помощью бета-спектрографов с однородным магнитным полем. В качестве калибровочного источника использовался  $^{169}\text{Yb}$ , нанесенный электролитически вместе с тербием на платиновую проволочку.

По интенсивностям гамма-лучей дочерних изотопов  $^{149}\text{Gd}$  /25/ и  $^{145}\text{Eu}$  /26/ определено отношение разветвления  $\alpha/\epsilon + \beta^+$  для  $^{149}\text{Tb}$ . Оно равно  $(0,20 \pm 0,02)$ . Определена интенсивность гамма-лучей с энергией 352,3 кэВ в процентах на один распад  $^{149}\text{Tb}$ . При сравнении интенсивностей гамма-лучей 352,3 кэВ и  $\chi$ -лучей гадолиния получено значение  $-(33,0 \pm 2,0)\%$ ; при сравнении интенсивностей гамма-лучей 352,3 кэВ  $^{149}\text{Tb}$ , 298,7 кэВ  $(24,5\% \pm 2,5\%)$  и 149,8 кэВ  $(50,5 \pm 5,0)\%$  дочернего  $^{149}\text{Gd}$  получено значение  $(34,0 \pm 5,0)\%$ .

г) Коэффициенты внутренней конверсии (КВК) и мультипольности переходов в ядре  $^{149}\text{Gd}$

В таблице 3 представлены экспериментальные и теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии ряда переходов в ядре  $^{149}\text{Gd}$ . Экспериментальные значения КВК, как видно из таблицы, определялись путем нормирования экспериментальных данных относительно переходов известной мультипольности как в ядре  $^{149}\text{Gd}$ , так и в дочернем ядре  $^{149}\text{Eu}$ . В последней графе таблицы даны мультипольности переходов. В таблицу 4 сведены данные по экспериментальным

и теоретическим отношениям  $K/\Sigma L$  ряда переходов в  $^{149}\text{Gd}$  и сделано заключение о мультипольности переходов, при этом привлекались результаты данных таблицы 3. По отношениям  $L_I : L_{II} : L_{III}$  определен мультипольный характер перехода 164,98 кэВ в  $^{149}\text{Gd}$  :  $(60,0 \pm 1,4)\% M1 + (40,0 \pm 1,4)\% E2$  ;  $\delta^2 = 0,66 \pm 0,03$ .

д) Исследования спектров гамма-гамма-совпадений. Спектры гамма-гамма-совпадений изучались с помощью двухмерного анализатора с цифровыми окнами на базе ЭВМ "Минск-2" /18/. Использовались два  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительными объемами  $25 \text{ см}^3$  и с разрешением 4,5 кэВ на линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$ .

В качестве источника использован моноизотопный препарат  $^{149}\text{Tb}$ . Некоторые из спектров совпадений представлены на рис. 4-7. В верхней части каждого рисунка изображен одиночный спектр  $^{149}\text{Tb}$  и отмечены участки спектров (А, Б, В, ..., 0), выбранные цифровыми окнами, с которыми измерялись совпадения. Выбирались как участки спектра, соответствующие пикам, так и участки сплошного, комптоновского распределения. Это позволяло более надежно проводить анализ спектров гамма-гамма-совпадений. Анализ спектров проводился методом, подобным описанному в /27/. Результаты анализа представлены в таблице 5.

### 3. Схема распада $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$

Анализ полученных экспериментальных данных позволил обоснованно ввести ряд возбужденных состояний  $^{149}\text{Gd}$ , возникающих при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Схема распада  $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$  приведена на рис. 8. Уровни  $^{149}\text{Gd}$ , введенные на основе анализа спектров гамма-гамма-совпадений, отмечены на рисунке кружками, остальные уровни введены на основе энергетического баланса и баланса интенсивностей.

Таблица 2. Энергии и относительные интенсивности  
гамма-лучей переходов в  $^{149}\text{Gd}$

№№ пп	$E_{\gamma}$ , кэВ	$I_{\gamma}^{\times}$	№№ пп	$E_{\gamma}$ , кэВ	$I_{\gamma}^{\times}$
I.	$K_{\alpha}$	$6750 \pm 270$	26.	$996,7 \pm 0,6^a)$	$13,4 \pm 1,0$
2.	$K_{\beta_1}'$	$1300 \pm 16$	27.	$1002,3 \pm 0,4$	$25,4 \pm 1,3$
3.	$K_{\beta_2}'$	$318 \pm 10$	28.	$1033,8 \pm 0,4$	$34,6 \pm 1,6$
4.	$98,43 \pm 0,20$	$20,0 \pm 2,0$	29.	$1040,0 \pm 0,3$	$144 \pm 3$
5.	$164,98 \pm 0,02$	$2810 \pm 85$	30.	$1054,5 \pm 0,5$	$19,4 \pm 2,1$
6.	$187,20 \pm 0,03$	$450 \pm 13$	31.	$1118,1 \pm 0,4$	$19,7 \pm 1,9$
7.	$352,3 \pm 0,1$	$3333 \pm 100$	32.	$1132,3 \pm 0,3$	$81,2 \pm 2,4$
8.	$388,4 \pm 0,3$	$2060 \pm 100$	33.	$1136,2 \pm 0,3^a)$	$126 \pm 3$
9.	$464,45 \pm 0,05$	$650 \pm 16$	34.	$1144,9 \pm 0,3$	$34,0 \pm 4,0$
III.	$511,0 \pm 0,05$	$765 \pm 27$	35.	$1167,2 \pm 0,3$	$50,6 \pm 2,3$
II.	$652,0 \pm 0,2$	$1690 \pm 40$	36.	$1175,8 \pm 0,3$	$374 \pm 4$
12.	$674,4 \pm 0,2$	$57,0 \pm 5,0$	37.	$1191,7 \pm 0,3$	$34,3 \pm 2,4$
13.	$687,4 \pm 0,4^a)$	$40,0 \pm 8,0$	38.	$1204,7 \pm 0,4$	$34,0 \pm 3,0$
14.	$723,5 \pm 0,3$	$16,7 \pm 1,4$	39.	$1260,9 \pm 0,4$	$17,8 \pm 1,2$
15.	$740,1 \pm 0,2^a)$	$41,0 \pm 2,0$	40.	$1280,8 \pm 0,5$	$12,0 \pm 4,0$
16.	$772,5 \pm 0,2$	$162 \pm 5$	41.	$1302,9 \pm 0,2$	$79,0 \pm 3,0$
17.	$793,4 \pm 0,9$	$9,8 \pm 3,5$	42.	$1341,4 \pm 0,3$	$235 \pm 5$
18.	$816,8 \pm 0,2$	$1245 \pm 46$	43.	$1366,6 \pm 0,3$	$10,0 \pm 2,0$
19.	$835,3 \pm 0,3^a)$	$37,0 \pm 4,0$	44.	$1379,6 \pm 0,3^a)$	$41,0 \pm 2,0$
20.	$853,3 \pm 0,4$	$1636 \pm 40$	45.	$1403,0 \pm 0,3^a)$	$40,0 \pm 2,0$
21.	$861,7 \pm 0,4$	$852 \pm 33$	46.	$1449,5 \pm 0,3^a)$	$94,4 \pm 2,8$
22.	$913,4 \pm 0,4^a)$	$7,0 \pm 2,0$	47.	$1461,7 \pm 0,6^a)$	$10,6 \pm 2,5$
23.	$955,7 \pm 0,4$	$41,4 \pm 3,1$	48.	$1477,2 \pm 0,4^a)$	$12,0 \pm 2,0$
24.	$965,8 \pm 0,4$	$48,0 \pm 4,2$	49.	$1483,8 \pm 0,3$	$26,5 \pm 2,0$
25.	$978,4 \pm 0,3$	$45,0 \pm 4,0$	50.	$1491,4 \pm 0,3^a)$	$30,0 \pm 2,0$

таблица 2 (продолжение)

I	2	3	I	2	3
51.	1498,3 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	11,0 $\pm$ 2,0	76.	2248,5 $\pm$ 0,5 <sup>a)</sup>	9,0 $\pm$ 1,0
52.	1513,9 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	17,0 $\pm$ 2,0	77.	2260,8 $\pm$ 0,2 <sup>a)</sup>	15,0 $\pm$ 2,0
53.	1540,1 $\pm$ 0,4	32,0 $\pm$ 3,0	78.	2284,2 $\pm$ 0,4	53,0 $\pm$ 2,0
54.	1545,5 $\pm$ 0,6 <sup>a)</sup>	13,0 $\pm$ 2,0	79.	2451,9 $\pm$ 0,5 <sup>a)</sup>	27,0 $\pm$ 4,0
55.	1559,4 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	13,0 $\pm$ 2,0	80.	2457,5 $\pm$ 0,5	10,5 $\pm$ 1,2
56.	1585,6 $\pm$ 0,3 <sup>a)</sup>	20,0 $\pm$ 2,0	81.	2472,9 $\pm$ 0,7 <sup>a)</sup>	12,3 $\pm$ 1,9
57.	1595,0 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	5,3 $\pm$ 1,0	82.	2497,9 $\pm$ 0,8 <sup>a)</sup>	9,0 $\pm$ 2,0
58.	1640,3 $\pm$ 0,2	326 $\pm$ 10	83.	2561,7 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	29,0 $\pm$ 2,0
59.	1679,2 $\pm$ 0,3 <sup>a)</sup>	22,0 $\pm$ 2,0	84.	2647,4 $\pm$ 0,4	19,0 $\pm$ 1,4
60.	1734,1 $\pm$ 0,4	10,5 $\pm$ 3,5	85.	2669,7 $\pm$ 0,7 <sup>a)</sup>	11,0 $\pm$ 1,0
61.	1798,6 $\pm$ 0,3 <sup>a)</sup>	23,0 $\pm$ 2,0	86.	2755,3 $\pm$ 0,6 <sup>a)</sup>	16,0 $\pm$ 4,0
62.	1806,2 $\pm$ 0,3	52,0 $\pm$ 2,0	87.	2774,5 $\pm$ 0,6 <sup>a)</sup>	14,5 $\pm$ 2,2
63.	1827,5 $\pm$ 0,3	121 $\pm$ 5	88.	2796,4 $\pm$ 0,3 <sup>a)</sup>	11,0 $\pm$ 1,0
64.	1874,4 $\pm$ 0,3 <sup>a)</sup>	44,0 $\pm$ 3,0	89.	2823,2 $\pm$ 0,2 <sup>a)</sup>	10,0 $\pm$ 2,0
65.	1909,6 $\pm$ 0,5	25,0 $\pm$ 2,0	90.	2857,1 $\pm$ 0,2 <sup>a)</sup>	14,7 $\pm$ 1,1
66.	1940,3 $\pm$ 0,3	70,0 $\pm$ 3,0	91.	2937,3 $\pm$ 0,2 <sup>a)</sup>	6,6 $\pm$ 1,5
67.	1948,5 $\pm$ 0,3	56,0 $\pm$ 2,0	92.	2963,9 $\pm$ 0,2	90,0 $\pm$ 4,0
68.	1973,6 $\pm$ 0,4	14,1 $\pm$ 3,2	93.	3013,3 $\pm$ 0,5 <sup>a)</sup>	11,0 $\pm$ 4,0
69.	1992,2 $\pm$ 0,6	8,4 $\pm$ 2,0	94.	3186,0 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	8,8 $\pm$ 1,4
70.	2008,5 $\pm$ 0,3	79,0 $\pm$ 3,0	95.	3202,2 $\pm$ 0,3	23,0 $\pm$ 2,0
71.	2035,3 $\pm$ 0,3	16,0 $\pm$ 2,0	96.	3273,1 $\pm$ 0,7	16,0 $\pm$ 2,0
72.	2107,7 $\pm$ 0,7 <sup>a)</sup>	17,0 $\pm$ 2,0	97.	3309,8 $\pm$ 0,4 <sup>a)</sup>	11,0 $\pm$ 2,0
73.	2134,1 $\pm$ 0,5	28,0 $\pm$ 5,0			
74.	2183,4 $\pm$ 0,4	71,0 $\pm$ 3,0			
75.	2238,4 $\pm$ 0,4	12,0 $\pm$ 1,0			

Примечания: а) Переходы не размещены в схеме распада.

ж) Относительные интенсивности гамма-лучей даны в единицах таблицы I, где  $I_{K-352,3} = 100$  ед.

Таблица 3. Экспериментальные и теоретические значения  $\alpha_k$  для переходов  $^{149}\text{Gd}$

№ пп	E пер. кэв	$\alpha_k^*$ эксп. $\times 10^3$ по Tb	$\alpha_k^{**}$ эксп. $\times 10^3$ по Gd	$\alpha_k$ теор. $\times 10^3$			Мультипольность
				E1	E2	M1	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	98,43	2800 $\pm$ 1400		250	1150	1900	M1
2.	149,8	465 $\pm$ 52	500	-	-	500	M1
3.	164,98	384 $\pm$ 15	368 $\pm$ 37	64	260	400	M1+E2
4.	187,20	302 $\pm$ 15	276 $\pm$ 28	48	200	300	M1
5.	298,7	78 $\pm$ 8	77	-	-	77	M1
6.	346,8	228 $\pm$ 23	192	-	-	M2-192	M2
7.	352,3	31	31,3 $\pm$ 3,1	9,6	31	55	E2
8.	388,4	44 $\pm$ 3	44,6 $\pm$ 4,4	7,4	22,5	42	M1
9.	464,45	26 $\pm$ 1	25,9 $\pm$ 2,6	4,8	13	26	M1
10.	652,0	10,6 $\pm$ 0,6	10 $\pm$ 1	2,3	5,9	10,8	M1
11.	674,4	<5		2,1	5,4	10,0	(E1)
12.	772,5	<2		1,6	4,0	7,0	E1
13.	793,4	<5		1,5	3,7	6,7	(E1)
14.	816,8	3,4 $\pm$ 0,3	3,1 $\pm$ 0,4	1,4	3,5	6,2	E2
15.	853,3	3,2 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,3	1,28	3,2	5,6	E2
16.	861,7	0,9 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,2	1,25	3,1	5,5	E1
17.	955,7	2,4 $\pm$ 1,0		1,05	2,5	4,4	E2
18.	965,8	3,1 $\pm$ 1,1		1,02	2,45	4,3	E2
19.	1033,8	<6		0,9	2,1	3,6	(M1)
20.	1040,0	3,1 $\pm$ 0,3		0,9	2,1	3,6	M1+E2
21.	1132,3	5,5 $\pm$ 1,7		0,77	1,77	2,9	(M1)
22.	1136,2	4,3 $\pm$ 1,3		0,76	1,75	2,9	(M1)
23.	1167,2	7,7 $\pm$ 2,4		0,72	1,66	2,7	M2
24.	1175,8	3,3 $\pm$ 0,5		0,72	1,63	2,7	M1
25.	1341,4	0,9 $\pm$ 0,4		0,58	1,28	2,0	E2, E1

продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
26.	1640,3	1,1 $\pm$ 0,2		0,4	0,9	1,2	М1, Е2
27.	1827,5	1,4 $\pm$ 0,5		0,32	0,74	0,98	М1
28.	2008,5	0,6 $\pm$ 0,1		0,29	0,6	0,78	Е2
29.	2963,9	0,45 $\pm$ 0,10		0,18	0,28	0,35	М1

Примечания: \* При расчете экспериментальных значений  $\alpha_K$  принималось, что переход с энергией 352,3 кэВ типа Е2 ( $\alpha_K$  теор. =  $31 \cdot 10^{-3}$ ).

\*\* При расчете экспериментальных значений  $\alpha_K$  принималось, что наблюдаемые в спектрах гамма-лучей и конверсионных электронов переходы с энергией 149,8 кэВ ( $I_\gamma = 264 \pm 26$ ,  $I_K = 102 \pm 5$ ), 298,7 кэВ ( $I_\gamma = 153 \pm 15$ ,  $I_K = 10 \pm 1$ ) и 346,8 кэВ ( $I_\gamma = 122 \pm 12$ ,  $I_K = 23,1$ ), возникающие при распаде дочернего  $^{149}\text{Gd}$  типа М1, М1 и М2, соответственно. Относительные интенсивности  $I_\gamma$  и  $I_K$  даны в единицах таблиц 1 и 2.

Таблица 4. Значения экспериментальных и теоретических отношений  $I_K/I_{\Sigma L}$  переходов в  $^{149}\text{Gd}$

№ пп	Е перех. кэВ	$I_K/I_{\Sigma L}$ эксп.	$I_K/I_{\Sigma L}$ теор.			Мультипольн.
			Е1	Е2	М1	
1.	164,98	3,9 $\pm$ 0,2	6,97	2,36	6,78	М1(60%)+Е2(40%)
2.	187,20	5,4 $\pm$ 0,3	7,50	2,86	6,98	М1+Е2
3.	352,3	4,3 $\pm$ 0,2	7,81	4,70	7,24	Е2
4.	388,5	6,8 $\pm$ 0,4	7,63	4,79	7,24	М1
5.	464,45	7,0 $\pm$ 0,4	7,50	5,0	7,05	М1

Примечание: По отношению  $L_{II} : L_{II} : L_{III} = 1,99 : 1,00 : 0,77$  перехода 164,98 кэВ в  $^{149}\text{Gd}$  определено значение  $\delta^2 = 0,66 \pm 0,03$  и мультипольность М1(60%) + Е2(40%).



Как отмечалось выше, анализ спектров гамма-лучей дочерних изотопов  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$ , накопившихся при распаде  $^{149}\text{Tb}$ , позволил определить интенсивности гамма-лучей, возникающих при распаде  $^{149}\text{Tb}$  в процентах на распад и отношение  $\alpha/\epsilon + \beta^+ = 0,20 \pm 0,02$  при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Определена интенсивность перехода 352,3 кэВ в процентах на один распад  $^{149}\text{Tb}$  -  $(33,0 \pm 2,0)\%$  и через него абсолютные интенсивности всех других переходов. Из анализа спектра совпадений с аннигиляционным пиком ( $\gamma$  511,0 - рис. 6) следует, что при позитронном распаде  $^{149}\text{Tb}$  уровень с энергией 1205,1 кэВ ( $3/2^-$ ) заселяется в  $(3,5 \pm 1,0)\%$  случаев распада  $^{149}\text{Tb}$ , уровень 1026,4 кэВ ( $3/2^+$ ) - в  $(0,7 \pm 0,3)\%$  случаев и 352,2 кэВ - в  $(1,0 \pm 0,6)\%$  случаев.

На схеме распада  $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$  (рис. 8) приведены интенсивности заселения уровней  $^{149}\text{Gd}$  при бета-распаде  $^{149}\text{Tb}$  и соответствующие значения  $lg f t$ . При расчете значений  $lg f t$  использована разность масс  $^{149}\text{Tb} - ^{149}\text{Gd}$ , равная  $(3735 \pm 40)$  кэВ. Это значение получено из анализа  $\alpha - \beta$ -цикла при использовании энергии альфа-распада  $^{149}\text{Tb}$  ( $Q_\alpha = 4098 \pm 3$  кэВ)  $^{28/}$ , альфа-распада  $^{149}\text{Gd}$  ( $Q_\alpha = 3123 \pm 5$  кэВ)  $^{10/}$  и бета-распада  $^{145}\text{Eu}$  ( $E_\beta = 2760 \pm 40$  кэВ)  $^{26/}$ .

Согласно схеме Майер, основное состояние  $^{149}\text{Gd}$  может иметь квантовые характеристики либо  $f_{7/2}$ , либо  $h_{9/2}$ . На основании данных о распаде  $^{149}\text{Gd}$  и по аналогии с ядрами  $^{147}\text{Sm}$   $^{25,29/}$   $^{151}\text{Gd}$   $^{30,31/}$  (рис. 9) можно заключить, что более вероятны спин и четность  $^{149}\text{Gd}$  -  $7/2^-$ . Мультипольности гамма-переходов, идущих с уровней 164, 98 и 352,3 кэВ, не противоречат приписанию этим уровням квантовых характеристик  $5/2^-$  и  $3/2^-$ ; соответственно. Основное состояние  $^{149}\text{Tb}$ , вероятно, имеет квантовые характеристики  $5/2^+$ , хотя не исключается и  $3/2^+$ . Как отмечалось в работе  $^{11/}$ , аналогия между ядрами  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{147}\text{Sm}$  проявляется также и в других свойствах

Таблица 5

Результаты анализа спектров гамма-гамма-совпадений  
при распаде  $^{149}\text{Tb}$

$E_{\gamma}$ кэВ	165	187	352	388	464	511	652	773	817	853	862
$E_{\gamma}$ кэВ											
165		+		+	+	+	+	+		+	+
187	+			+	+			+		+	
352				+	+	+		+		+	
388	+	+	+		+	+	+		+		
464	+	+	+	+							
511	+		+	+			+		+	+	+
652	+			+		+					
773	+	+	+								
817				+		+					
853	+	+	+			+					
862	+					+					
1176	+				+		+		+		
1205											
1303	+										
1341							?		?		
1640			+								
1828	+										

Примечание: Знаком "+" отмечены наблюдаемые совпадения  
гамма-лучей.



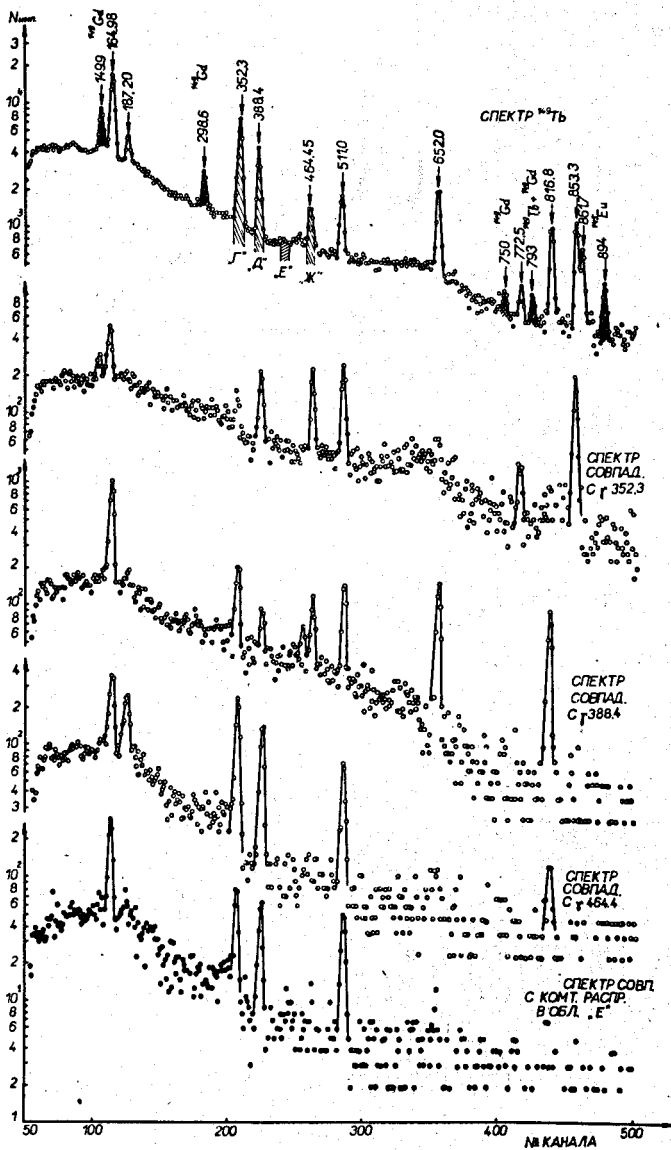


Рис. 5. Спектры гамма-гамма-совпадений с гамма-лучами с энергией 352,3; 388,4 и 464,4 кэВ.

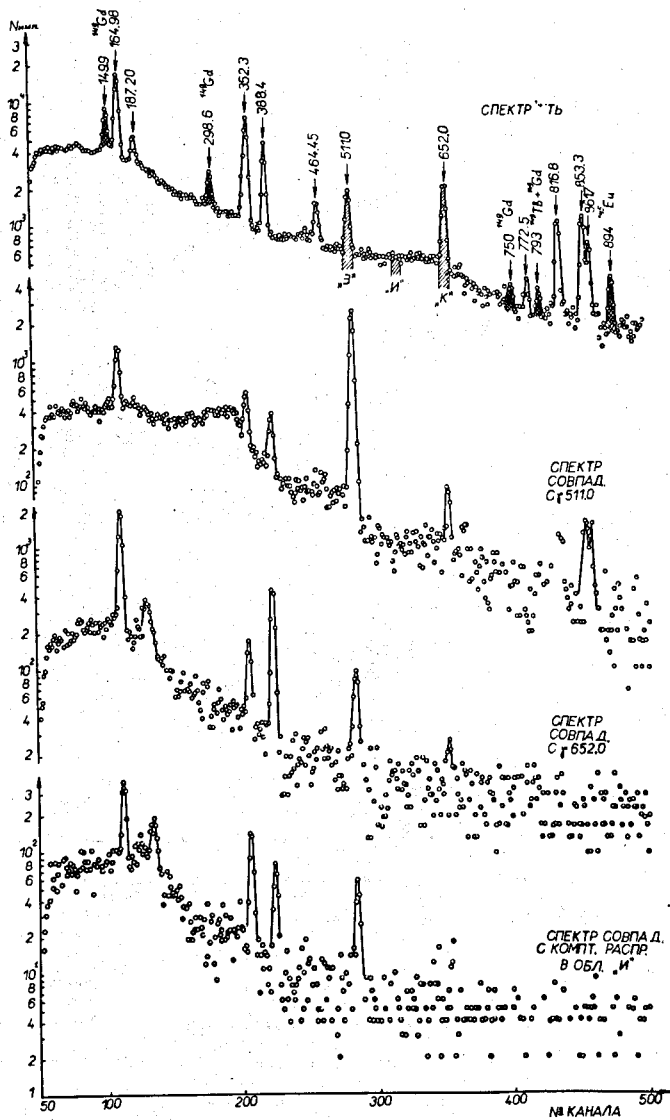


Рис. 6. Спектры гамма-гамма-совпадений с гамма-лучами с энергией 511,0 и 652,0 кэВ.

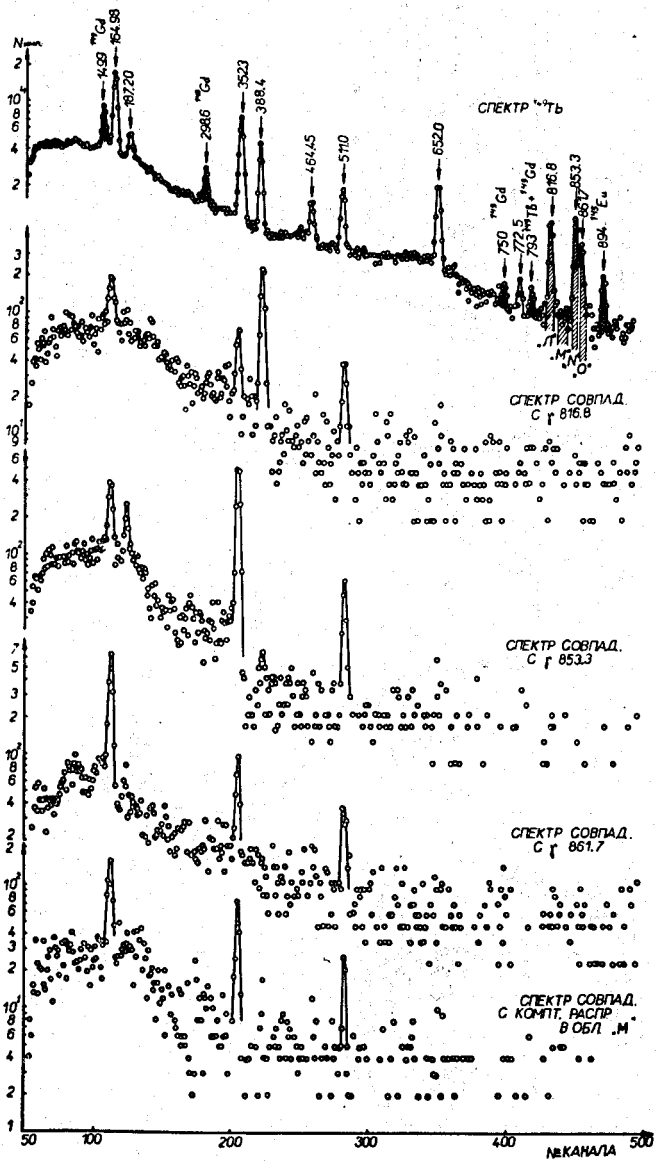


Рис. 7. Спектры гамма-гамма-совпадений с гамма-лучами с энергией 816,8; 853,3 и 861,7 кэв.

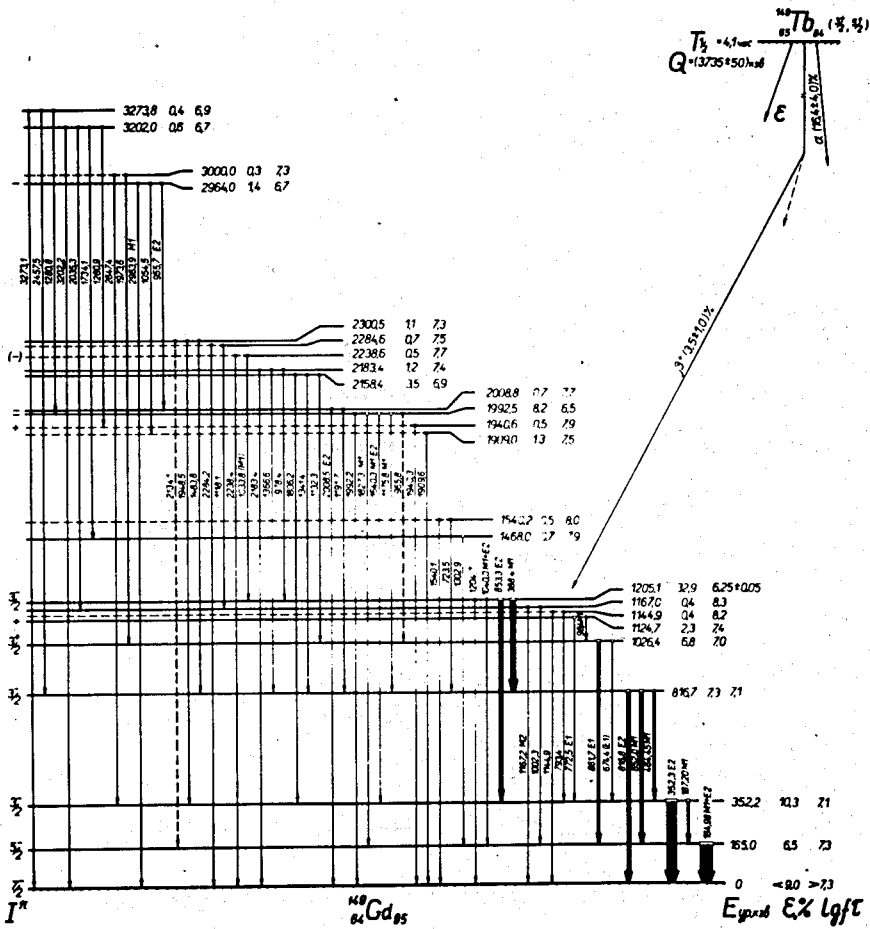


Рис. 8. Схема распада  $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$ . Незачерненные кружки на уровнях обозначают, что уровень подтверждается совпадениями.

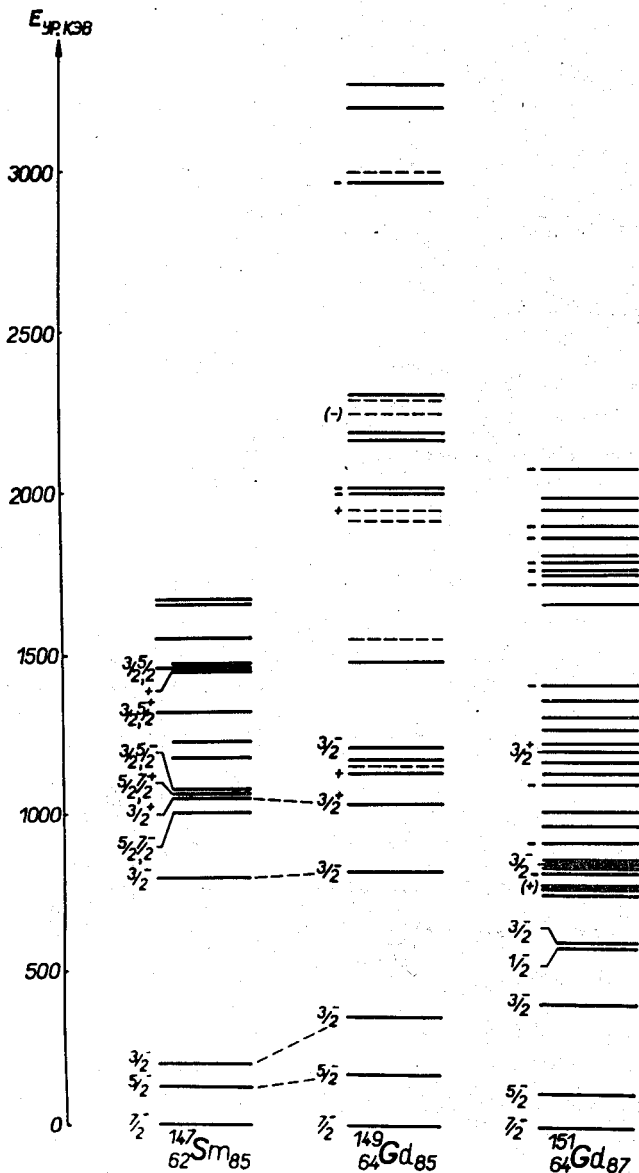


Рис. 9. Сравнение возбужденных состояний соседних ядер  $^{149}_{64}\text{Gd}$  и  $^{151}_{64}\text{Gd}$  и  $^{147}_{62}\text{Sm}$ .



возбужденных состояний. В ядре  $^{149}\text{Gd}$  наблюдается также уровень с энергией 1027 кэВ ( $3/2^+$ ), аналогичный уровню  $^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$  с энергией 1053 кэВ и уровню  $^{151}_{64}\text{Gd}_{87}$  с энергией 1191,8 кэВ (рис. 9).

Как отмечалось в работах /31,32,33/ по исследованию времен жизни возбужденных состояний ядер  $^{151}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Gd}$ , нижние уровни со спинами  $7/2^-$ ,  $5/2^-$  и  $3/2^-$  можно рассматривать на основе модели возбужденных состояний нечетных ядер, предложенной Де Шалитом /34/. Связь между частичным состоянием  $7/2$  и квадрупольным вибрационным фононом может дать пять состояний со спинами  $3/2$ ,  $5/2$ ,  $7/2$ ,  $9/2$ ,  $11/2$ , при этом должно наблюдаться ускорение  $E2$  -переходов между фоновыми состояниями, а  $M1$  -переходы запрещены. Такое положение наблюдается, в частности, для перехода с энергией 164,98 кэВ, разряжающего первый возбужденный уровень  $^{149}\text{Gd}$ :  $M1$  -переход значительно замедлен, а  $E2$  -ускорен /32,33/.

#### Литература

1. J.O.Rasmussen, S.G.Thomson, A.Chiorso. Phys.Rev., 89, 33 (1953).
2. Jr. Rollier, J.O. Rasmussen. Rend.Acad.nahl.Lindcei, 14, 526 (1953).
3. K.S.Toth, J.O.Rasmussen, J.Inorg.Nucl.Chem., 10, 198 (1958).
4. K.S.Toth, S.Bjørnholm, M.Jørgensen, O.B.Nielsen, O.Skilbreid. Phys. Rev., 116, 118 (1959).
5. Б.С. Джелепов, Ж.Т. Желев, А.В. Кудрявцева, О.В. Ларионов, И.И. Никитин, Р. Степич. Препринт ОИЯИ Р-587, Дубна, 1960.
6. Н.А. Бонч-Осмоловская, Б.С. Джелепов, О.Е. Крафт, Чжоу Юе-ва. Изв. АН СССР, сер. физ., 25, 826 (1961).

7. А.Т. Стригачев, Л.С. Новиков, А.А. Сорокин, В.А. Халкин, Н.В. Цветкова, В.С. Шпинель. Изв. АН СССР сер. физ., 25, 813 (1961).
8. К.Я. Громов, И. Махунка, М. Махунка, Т. Фенеш. Изв. АН СССР, сер. физ., 29, 194 (1965).
9. А.С. Данагулян, А.Т. Стригачев, В.С. Шпинель. Программа и тезисы докладов XIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Киеве стр. 49, М-Л., 1963.
10. Н.А. Головков, К.Я. Громов, Н.А. Лебедев, Б. Махмудов, А.С. Руднев, В. Г. Чумин. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 10, 16-18 (1967).
11. К. Вильский, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, Г. Музиоль, О.Б. Нильсен, О. Скилбrait. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 187 (1968).
12. K.S.Toth, S.Björnholm, M.H.Jørgensen, O.V.Nielsen, O.S. Skilbreid, A.Svanheden. J.Inorg.Nucl.Chem., 14, 1 (1960).
13. В.Г. Чумин, Ж.Т. Желев, К.Я. Громов, Б. Махмудов. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, № 1, 146, 1967.
14. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, А.И. Калинин, Б.П. Осипенко, И. Пенев, Д. Срка, В.И. Фоминых, Я. Юрковски. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, 185, 1971.
15. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, А.И. Калинин, Б.П. Осипенко, И. Пенев, В.И. Фоминых, В.Г. Чумин. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, 188, 1971.
16. А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, Г.Я. Умаров. "Бета-спектрографы с постоянными магнитами". Изд. ФАН, Ташкент, 1970.
17. J.Adam, V.G.Chumin, Yu.N.Denisov, M.Finger, K.Ya.Gromov, M.Ya.Kuznetsova, Lu Si-ting. Preprint JINR E -2494 Dubna, 1965.
18. 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. Фоминых, М.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 1, 69-77 (1970).
19. К.Я. Громов, И.И. Громова, Г.И. Исхаков, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Н.А. Лебедев, В.И. Фоминых. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, 118, 1971.
20. Б.К. Преображенский, О.М. Лилова, А.Н. Добронравова, Е.Д. Тетерин. ЖАХ, 1, 2294 (1956).

21. А.Ф. Новгородов, В.Л. Кочетков, Н.А. Лебедев, В.А. Халкин. Радиохимия, 8, 1, 73, 1964.
22. В.П. Афанасьев, А.Т. Василенко, И.И. Громова, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Л. Мянчка, Ю. Поморски, В.И. Райко, А.В. Ревенко, В.И. Сороко, В.А. Уткин. Препринт ОИЯИ, 13-4763, 1969.
23. З.В. Лысенко, Й. Томик, В.Р. Трубников. Препринт ОИЯИ, 10-3331, Дубна, 1967.
24. В. Гаджиков. Препринт ОИЯИ P10-5035, Дубна, 1970. ПТЭ, №5, 82 (1970).
25. I. Adam, K.S.Toth, R.A. Meyer. Nucl. Phys., A106, 275 (1968).
26. Ж. Желев, Г. Музиоль. Препринт ОИЯИ, P-2314, Дубна, 1965.
27. П. Галан, М.Я. Кузнецова, М. Фингер, И. Юрсик. Препринт ОИЯИ, P8-3479, 1967. Czech. J. Phys., B19, 232 (1969).
28. V.G.Chumin, K.Ya.Gromov, B.Makhmudov, Zh.T.Zhelev. Препринт ОИЯИ, E-2721, Дубна, 1966.
29. Я. Вавришук, Г. Говорек, К. Клишевска. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 2154, 1970.
30. М. Гонсиор, И.И. Громова, Г.И. Исхаков, В. В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, М. Михайлов, А.В. Потемпа, В.И. Фоминых. Acta Phys. Polonica, B2, 307-325 (1971).
31. В.А. Морозов, Т.М. Муминов, В.И. Разов. Препринт ОИЯИ, 6-4406, Дубна, 1969.
32. А. Баланда, М. Гонсиор, В.В. Кузнецов, Г.И. Лизурей, В. Менчински, М. Михайлов. Acta Phys. Polonica, 36, 1099 (1969).
33. Я. Вавришук, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, В.И. Разов, Я. Сажински, В.И. Стегайлов, А.Б. Халикулов. Препринт ОИЯИ, 6-5287, Дубна, 1970.
34. A. de Shalit. Phys. Rev., 122, 1530 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 июня 1972 года.