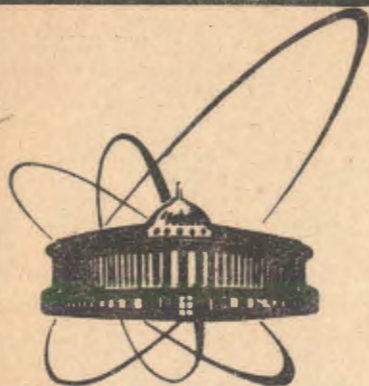


90-229



сообщения
Объединенного
Института
Ядерных
Исследований
Дубна

e
+

Г 874

P6-90-229

К. Я. Громов, А. К. Караходжаев¹, В. В. Кузнецов,
Т. М. Муминов², Ж. Сэрээтэр, Я. А. Сайдимов²,
В. И. Фоминых, М. И. Фоминых, М. Б. Юлдашев²

РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$

Экспериментальные результаты исследований
спектров $e\gamma$ -совпадений. Схема распада

¹Ташкентский государственный университет

²Научно-исследовательский институт прикладной
физики ТашГУ, Ташкент

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Данные ранних работ /1-10/, в которых сформировалась основа схемы распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$, позволили установить существование низкоэнергетических < 300 кэВ возбужденных состояний ^{153}Gd , их разрядку и квантовые характеристики. Однако, как уже отмечалось нами в первой части работы /11/, спектр излучения ^{153}Tb достаточно сложный и требует более тщательного исследования с применением современных методов ядерной спектроскопии. Нами проведено детальное изучение спектров $e\gamma$ -совпадений с целью уточнения размещения γ -переходов в схеме распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$.

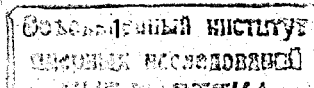
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Экспериментальные результаты анализа спектра γ -лучей ^{153}Tb представлены в первой части настоящей работы /11/, где приведены данные об энергиях, относительных интенсивностях и размещениях γ -переходов в схеме распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$. Размещение γ -переходов основано на представленных в табл.1 результатах обработки спектров $e\gamma$ -совпадений с привлечением данных работ /1-6/.

Проведены детальные исследования спектров $e\gamma$ -совпадений при распаде ^{153}Tb с использованием моноизотопных источников. Измерения спектров $e\gamma$ -совпадений проводились на установке /12/, собранной на базе светосильного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем /13/ и спектрометра с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором. Информация о совпадениях накапливалась в памяти 4096-канального амплитудного анализатора ICA-70.

При измерениях совпадений использовались различные фильтры для поглощения рентгеновского и мягкого γ -излучения ^{153}Tb : фильтр 1 /0,5 мм Cu /, фильтр 2 /0,5 мм $\text{Cd} + 0,5$ мм Cu /, фильтр 3 /1,5 мм $\text{Pb} + 0,5$ мм $\text{Cd} + 0,5$ мм Cu /, что позволило нам наблюдать совпадения с жесткими по энергии γ -лучами с интенсивностью вплоть до $I_{\gamma} = 0,05$ ед. / $I_{\gamma 212} = 100$ ед./.

Измерены спектры совпадений γ -лучей с электронами внутренней конверсии $L_3 19,4$; $L_1 41,6$; $L_1 51,8$; $K 68,2$; $K 87,6$; $K 102,3$; $K 109,8$; $K 174,4$; $K 212,0$ и $K 249,5$ при распаде ^{153}Tb .



Совпадения $e\gamma$, наблюдаемые при распаде ^{153}Tb , $5/2^+$ Таблица 1

ЭВК (Евр, кэВ)	γ -переходы, наблюдаемые в совпадениях, кэВ						
	1	2	3	4	5	6	7
M 41.6 (41,55)	68.2,	82.9,	87.6,	102.3,	126.1,	132.6,	139.8,
	141.9,	170.5,	174.4*	178.1,	186.1+186.9,	197.2,	208.1,
	210.3,	229.6,	233.9,	239.8,	248.8,	258.7,	262.0,
	266.8,	273.4+274,	275,	278.5,	299.6,	310,	320.0,
	327.2,	332.6,	340.4,	346.2,	348.8,	400.6,	406.8,
	462.4,	467.2,	489*	507.7*	514.5,	526.0	548.1,
	552.9,	565.5,	579.8,	598.2,	605.0,	622.0,	629.7,
	638.2,	650.2,	653.3,	667.3,	673.0,	690.0,	711.5,
	727.8,	733.5,	736.4,	739.6,	740.8,	754,	755.8,
	761.8,	798.8,	816.0*	819,	824.1,	827.3,	835.5,
	842.3,	852.0,	860.9,	882.9,	885.7,	890,	895.7,
	903.6,	918.1,	925.5,	937.4,	945.2,	964.7,	972.6,
	991.9,	1012.2,	1022.0,	1032,	1036.7,	1051.5,	1060.2,
	1070.0,	1077.2,	1086,	1090.2,	1105.7,	1139.1,	1144,
	1157.7,	1179.6,	1199.0,	1218.5,	1231.0,	1272.5,	1295,
	1323,	1347,	1360				
L 51.8 (93,31)	90.1,	102.3,	126.1*	132.6,	147.7,	151.7,	166.9,
	174.4,	178.1,	186.9,	195.2,	197.2,	206.3,	210.3,
	233.9,	239.8,	258.7,	266.8,	275.2,	332.6,	340.4,
	348.8,	355.1,	362.9,	398.8,	410.9,	417.2,	455.4*
	479.2,	482.2,	489.0,	496.6,	504.6,	514.2,	526.6,
	542.5,	548.1,	552.9,	579.8,	586.5,	605.2,	629.7,
	638.2*	653,	665.2,	673,	682.3,	691,	711.5,
	718.5,	727.8,	736.4,	739.6,	754.0,	755.8,	771.9,
	795.4,	795,	816,	827.3,	835.5,	842.3,	845.7,
	852,	860,	883,	906.0,	912,	918,	925,
	937,	945,	973,	979.7,	991.9,	997,	1022,
	1024.6,	1051.5,	1070,	1106,	1144,	1157.7,	1179.7,
	1199,	1272.5,	1295				

1	2
K 109.8 K 68.2 (109,75)	82.9, <u>102.3</u> , 120.2, 132.6, <u>139.8</u> , 151.7, 174.4, 186.9, <u>193.8</u> , <u>206.3</u> , 223.6, 229.6, 233.9, 239.8, 258.7, 278.5, 285, 299.6, <u>303.0</u> , 319, 327, <u>332.6*</u> , 340.4, 353.4, 393, <u>420.4*</u> , (439), 467.2, 496.6, 504.5, <u>526.6*</u> , 533.1, 579.8, <u>599.3*</u> , 605.2, 618, <u>622.0</u> , <u>629.7</u> , 653.3, 665.2, <u>673.0</u> , 705.8, <u>711.5</u> , 718.5, 721.4, 728.0, 736.4, 739.7, <u>748.0</u> , <u>755.8</u> , 785.7, 795.4, 798.8, 816.0, <u>827.3</u> , <u>835.5</u> , <u>845.7</u> , 852.0, 860.9, <u>880.7</u> , 885.7, 890.2, <u>906.0</u> , 918.0, <u>925.4</u> , <u>937.4</u> , <u>956.5</u> , 972.6, <u>992</u> , <u>1008.7</u> , 1012.2, <u>1022.0</u> , 1051.5, <u>1070</u> , 1078.6, 1144, 1199.0, <u>1218</u> , 1272, <u>1291.5</u> , 1323, <u>1342.5</u>
K 87.6 L 19.4 (129,16)	<u>82.9</u> , 132.6, <u>174.4*</u> , <u>186.1+186.9</u> , 232.7, <u>239.8</u> , 278.5, 285, 299.6, 319, <u>332.6*</u> , 340.4, <u>353.4</u> , <u>379.3</u> , 392.6+393.4, 405.6, 417, 420.4, 436.3, 455.4, 467.2, 482.2, 489.0, 496.6, 525.7, 548.1, <u>579.8</u> , 591.3, 599, 629.7, 638, 647, <u>653.3*</u> , 665, 673.5, 690, 706, <u>718.5*</u> , 728.5, <u>736.4</u> , 739, 741, 754+755, 762, 785.6, 799, 806, <u>816.0*</u> , <u>826</u> , 852, <u>861</u> , 883, <u>885.7</u> , <u>906</u> , 918, <u>937.4*</u> , 945.2, 967.7, <u>972.5</u> , 1012, <u>1051.5</u> , 1144, <u>1199*</u> , <u>1272.5*</u> , <u>1323</u>
K 174.4 (215,95)	<u>87.6*</u> , <u>152.7</u> , <u>197.2</u> , <u>226.2*</u> , <u>232.7</u> , 266.8, 292.7, 310.5, 319, <u>332.6*</u> , 340.4, 393, <u>420.4*</u> , 436, 467, 489, 494+496, 504.5, <u>515.5</u> , 533, 553, 557, 571, <u>605.2</u> , 629.7, 641.5, 666, 673, 690, <u>721.4</u> , <u>739.5</u> , 779, 785.7, <u>799</u> , <u>819.0</u> , 883, <u>915.2</u> , 945, <u>964.7</u> , <u>983</u> , 990, 1012, 1032, 1055, <u>1111.8</u> , (1210)
K 249.5 (249,53)	(186), (199), <u>281</u> , 436, (441), <u>459</u> , 470.6, <u>482.2</u> , 496.6, 503, <u>525*</u> , <u>533</u> , <u>571.4</u> , 586, <u>598</u> , 608, 650, 665, <u>695</u> , <u>706</u> , 741, <u>785.7*</u> , <u>795</u> , <u>852</u> , <u>869</u> , <u>882.5*</u> , <u>931</u> , 945, <u>990</u> , <u>1078</u> , (1202)

Примечание: Звездочкой обозначены сложные переходы, которые размещаются в двух местах схемы распада ^{153}Tb , один из которых совпадает с данными ЭВК.

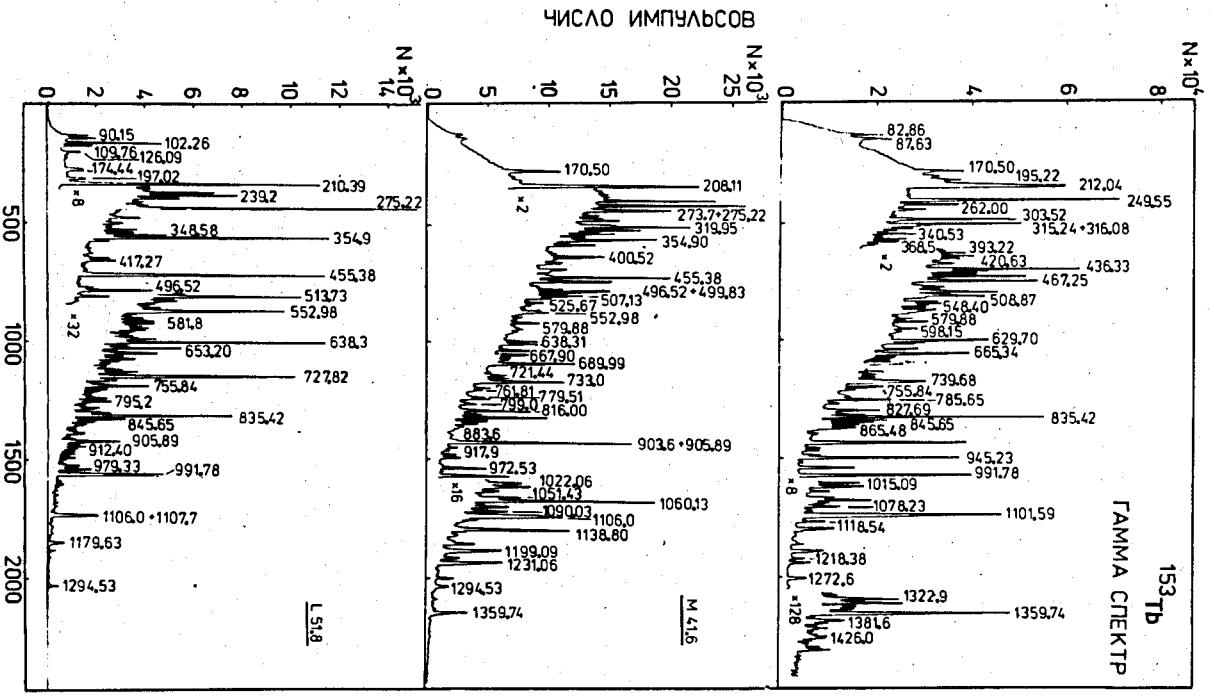


Рис. 1. Спектр γ -лучей ^{153}Tb /вверху/, спектры совпадений ЭВК M41,6 /сизм. = 40 ч/ и L51,8 /сизм. = 24 ч/ с γ -лучами при распаде ^{153}Tb . При измерении использовался фильтр 3.

4

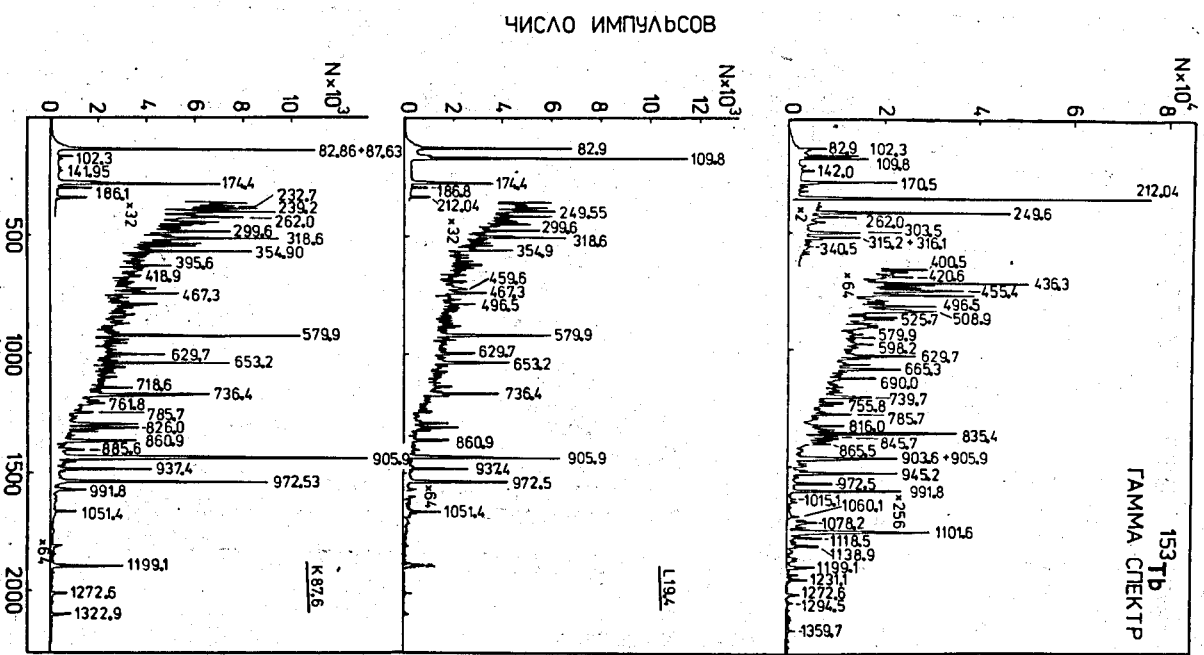


Рис. 2. Спектр γ -лучей ^{153}Tb /вверху/, спектры совпадений ЭВК L319,4 /сизм. = 24 ч/ и K87,6 /сизм. = 24 ч/ с γ -лучами при распаде ^{153}Tb . При измерении использовался фильтр 2.

5

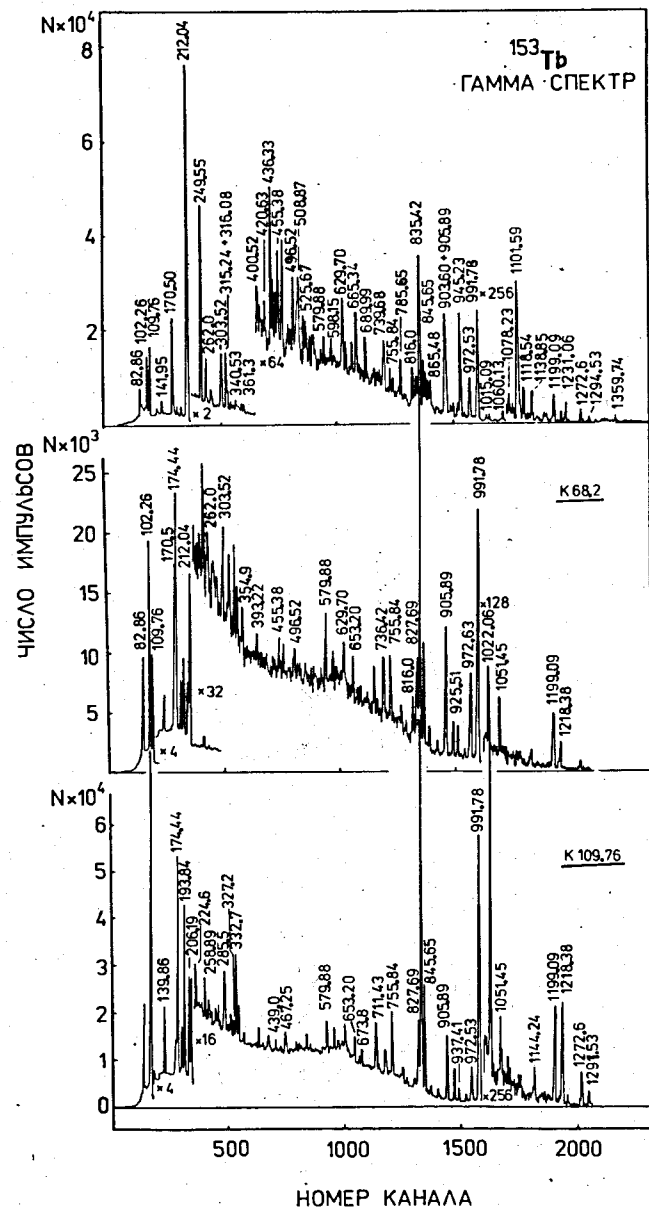


Рис.3. Спектр γ -лучей ^{153}Tb /вверху/, спектры совпадения ЭВК K68,2 / $t_{\text{изм.}} = 24$ ч/ и K109,76 / $t_{\text{изм.}} = 23$ ч/ с γ -лучами при распаде ^{153}Tb . При измерениях использовался фильтр 2.

При изучении спектров совпадений ЭВК с γ -лучами в аналогичных условиях измерялся также спектр γ -лучей ^{153}Tb . Спектры $e\gamma$ -совпадений измерялись в течение 20-40 часов в каждом случае и спектры γ -лучей - 0,5-2 часа.

После определения площадей пиков полного поглощения /фотопиков/ γ -лучей в спектрах подвергались анализу отношения площадей фотопиков γ -лучей в спектре $e\gamma$ -совпадений $\text{Se}\gamma_i$ к соответствующим площадям фотопиков в спектре γ -лучей $\text{S}\gamma_i$. В том случае, когда ряд γ -переходов заселяет один и тот же уровень,

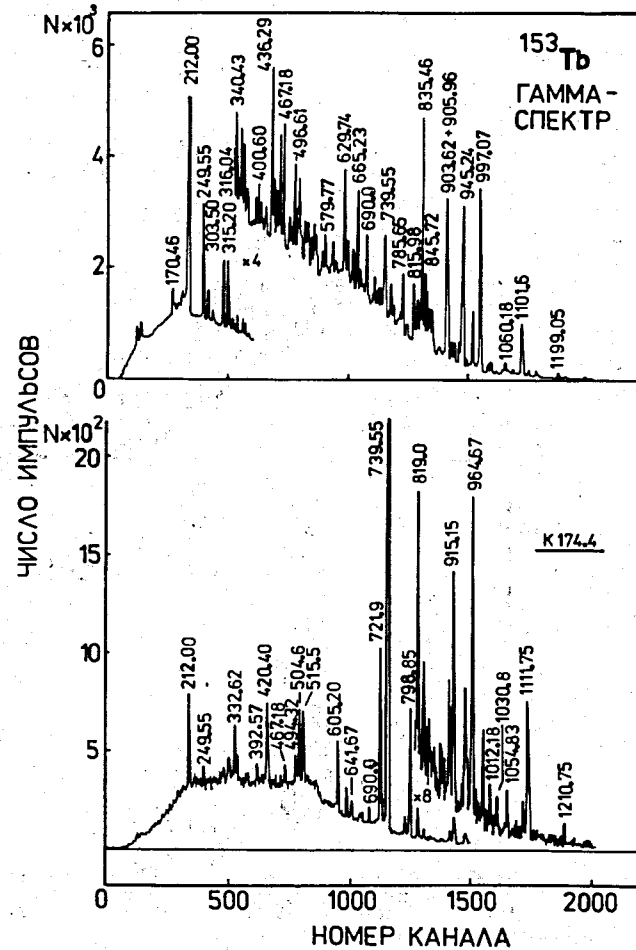


Рис.4. Спектр γ -лучей ^{153}Tb /вверху/ и спектр совпадения ЭВК K174,4 / $t_{\text{изм.}} = 21$ ч/ с γ -лучами при распаде ^{153}Tb . При измерении использовался фильтр 3.

должны выполняться соотношения $Se_{\gamma_1}/S_{\gamma_1} = Se_{\gamma_2}/S_{\gamma_2} = Se_{\gamma_3}/S_{\gamma_3} = \dots = Se_{\gamma_i}/S_{\gamma_i} = \text{const}$, так как для переходов, заселяющих одни и те же уровни, соотношения интенсивностей γ -лучей в спектре совпадений будут равны соотношениям интенсивностей этих γ -лучей в одиночном γ -спектре. При $Se_{\gamma}/S_{\gamma} = C_1 < C = \text{const}$ следует, что γ -лучи с данной энергией отвечают за заселение вышележащих уровней. Уменьшение отношений по величине обусловлено ветвлением разрядки соответствующих возбужденных состояний.

Методика обработки спектров $e\gamma$ -совпадений подробно описана в/14/.

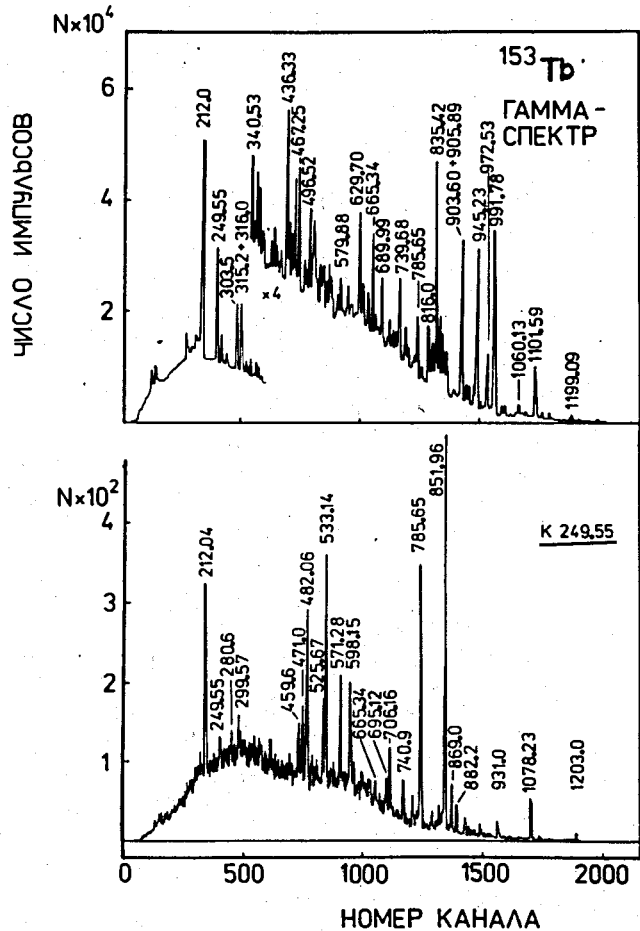


Рис. 5. Спектр γ -лучей ^{153}Tb /вверху/ и спектр совпадений ЭВК K249,5 /с_{изм.} = 19 ч/ с γ -лучами при распаде ^{153}Tb . При измерениях использовался фильтр 3.

Число случайных совпадений, наблюдаемых нами в экспериментах, не превышало 3% от числа истинных.

Спектры $e\gamma$ -совпадений представлены на рис.1-5.

В табл.1 сведены данные анализа спектров $e\gamma$ -совпадений. Значения энергий γ -переходов, непосредственно совпадающих с соответствующими ЭВК γ -переходов и отвечающих за заселение данного возбужденного уровня, подчеркнуты.

Нами не приводятся значения схемных коэффициентов ветвления, поскольку непосредственные совпадения γ -переходов отмечены в табл.1 для разных случаев $e\gamma$ -совпадений, отвечающих за возбужденные уровни ^{153}Gd с энергией 41,55; 93,31; 109,75; 129,16; 215,95; 303,52; 290,36 и 249,53 кэВ соответственно.

3. СХЕМА РАСПАДА ^{153}Tb

На основании анализа результатов обработки спектров γ -лучей, $e\gamma$ -совпадений в совокупности с данными о $\gamma\gamma$ -совпадениях/2/ и данными работ других авторов/1-6/ предлагается схема распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$. Данные о схеме распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ сведены в табл.2, в которой представлены значения энергий уровней, квантовые характеристики, процент заселения уровней при β -распаде и соответствующие значения величин $\log ft$. В последней графе приведены величины периодов полураспада возбужденных состояний ^{153}Gd , полученные в работе/6/.

Размещение γ -переходов в схеме распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ дано в первой части настоящей работы/11/ в сводной табл.1.

Введение уровней ^{153}Gd подкреплено наблюдаемыми совпадениями. Значения энергий уровней и их погрешности рассчитывались с использованием всех комбинаций сумм и разностей энергий γ -переходов для каждого возбужденного состояния. Погрешности значений энергий уровней ^{153}Gd составляют 10-100 эВ.

В схеме распада размещены все наблюдаемые переходы. На основе баланса интенсивностей γ -переходов с использованием значения разности масс $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ $Q_{\beta} = 1585(5)$ кэВ и интенсивности позитронного распада/9/ рассчитаны проценты заселения уровней при β -распаде ^{153}Tb . Величины заселения основного состояния ^{153}Gd путем позитронного и электронного захвата при распаде ^{153}Tb определены в работе/9/ $(4,1^{+6,7}_{-3,3}) \times 10^{-3}$ и $(0,9^{+1,8}_{-0,8})\%$ соответственно.

При расчете значений $\log ft$ за 100% интенсивности на распад ^{153}Tb принята суммарная интенсивность переходов, идущих в основное состояние ^{153}Gd , равная 320(10) отн.ед.

При анализе спектров $e\gamma$ -совпадений нами сделано заключение о том, что 33 близких по энергии γ -перехода должны быть разме-

Таблица 2

Схема уровней ^{153}Gd , возбуждающихся при распаде ^{153}Tb , $5/2^+$

Еур (4Е), кэВ	I^{π}	$\langle \beta, \beta^+ \rangle, \%$	$\lg ft$	$T_{1/2}$, нс[6]
1	2	3	4	5
0	$3/2^-$	$\langle 2,7$	$\rangle 8,5$	
41,55(1)	$5/2^-$	6(3)	7,8	4,05(9)
93,31(3)	$7/2^-$	4,1(6)	8,0	0,45(9)
95,15(3)	$9/2^+$			
109,75(1)	$5/2^-$	3,3(15)	8,0	0,243(14)
129,16(1)	$3/2^-$	$\langle 1,0$	$\rangle 8,5$	2,39(14)
183,46(1)	$5/2^+$	3,4(2)	8,0	0,76(12)
212,00(1)	$3/2^+$	58(2)	6,7	$\langle 0,18$
215,95(2)	$5/2, 7/2^+$	0,16(6)	9,3	$\langle 0,21$
219,32(5)	$3/2, 5/2^+$	0,10(1)	9,5	
249,53(4)	$5/2^-$	2,9(1)	8,0	
290,36(3)	$7/2^+$	1,3(1)	8,4	
303,52(1)	$5/2^+$	3,8(1)	7,8	$\langle 0,21$
315,22(5)	$1/2^-$	$\langle 0,1$	$\rangle 9,4$	
316,04(1)	$3/2^+$	0,9(1)	8,5	
327,15(3)	$(1/2^+)$	0,19(1)	9,1	
361,63(5)	$3/2^-$	0,65(4)	8,6	
368,64(5)	$7/2^-$	0,16(2)	9,2	
412,91(6)	$(3/2^+)$	0,06(1)	9,6	
436,31(4)	$1/2^-$	0,3(1)	8,9	
442,19(3)	$5/2^+$	0,44(2)	8,7	
448,42(4)	$5/2^-$	$\langle 0,1$	$\rangle 9,5$	
482,75(8)	$1/2^+$	0,05(2)	9,6	
504,00(4)	$5/2^-$	$\langle 0,05$	$\rangle 9,5$	
508,79(8)	$3/2, 5/2^-$	0,46(3)	8,6	
530,49(3)	$3/2^-$	$\langle 0,05$	$\rangle 9,5$	
548,51(7)	$5/2^-$	0,47(5)	8,6	
607,45(6)	$3/2^-$	0,17(1)	9,0	
636,47(4)	$7/2^-$	0,42(2)	8,5	
708,98(6)	$3/2^+$	0,75(3)	8,2	
731,60(4)	$7/2^+$	0,68(4)	8,2	
775,14(5)	$3/2, 5/2^+$	0,13(1)	8,9	

1	2	3	4	5
782,53(3)	$3/2^+$	0,93(3)	8,1	
821,27(5)	$5/2^+$	0,43(3)	8,3	
847,66(3)	$5/2, 7/2^-$	0,25(2)	8,5	
857,50(4)	$3/2, 5/2^-$	0,66(6)	8,1	
865,56(4)	$3/2^+$	0,65(3)	8,1	
937,35(6)	$7/2^+$	0,5(1)	8,2	
945,16(5)	$3/2^+$	3,7(2)	7,2	
955,51(2)	$5/2^+$	1,0(1)	7,8	
990,15(8)	$3/2, 5/2^+$	0,26(2)	8,3	
1014,9(1)	$5/2^+$	0,29(1)	8,3	
1035,15(4)	$5/2^+$	1,0(1)	7,7	
1044,6(1)	$(3/2, 5/2^+)$	0,18(1)	8,4	
1066,45(7)	$3/2, 5/2^+$	0,26(2)	8,2	
1101,69(3)	$3/2^+$	3,0(1)	7,1	
1118,58(4)	$3/2, 5/2^+$	0,11(1)	8,5	
1131,67(6)	$7/2^+$	0,35(2)	7,9	
1180,59(4)	$3/2, 5/2^+$	0,24(2)	8,0	
1199,04(6)	$5/2, 7/2^-$	0,13(1)	8,2	
1272,6(1)	$5/2^+$	0,14(1)	8,0	
1328,21(4)	$3/2, 5/2^+$	0,22(2)	7,6	
1387,5(1)	$(3/2, 5/2^+)$	0,07	7,8	
1401,49(6)	$3/2, 5/2^+$	0,16(1)	7,3	
1422,9(1)	$3/2, 5/2^+$	0,03	7,9	
1426,7(1)		0,04	7,8	
1452,33(5)	$3/2, 5/2^+$	0,09(1)	7,2	

щены в двух местах схемы распада. При этом нам удалось в 23 случаях оценить интенсивности "двойных" γ -переходов. Эти данные включены в табл.1 первой части нашей работы [11].

Детальный анализ спектров γ -лучей и $e\gamma$ -совпадений при распаде ^{153}Tb позволил ввести 56 возбужденных состояний ^{153}Gd . Нами однозначно включено более 50 γ -переходов, либо ранее не размещенных, либо ошибочно размещенных, в схему распада ^{153}Tb , в том числе 12 новых γ -переходов.

Обсуждение природы возбужденных состояний ^{153}Gd будет дано в следующей работе.

В заключение авторы приносят благодарность Я.Ваврыщуку за ценные замечания при обсуждении результатов работы, Б.Кнотковой и Ж.Отгон за помощь при оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.С., Вылов Ц., Громова И.И., Громов К.Я., Исхаков Г.И., Кузнецов В.В., Лебедев Н.А., Потемпа М., Фоминых М.И., Хамидов А.Ш., Холбаев И. - ОИЯИ, Р6-8316, Дубна, 1974; Изв. АН СССР, сер. физ., 1975, 39, с.506.
2. Peghaire A. - These, Le Grade de Docteur es Sciences Physiques, 1977, Centre d'Orsay, Universite' Paris-Sud.
3. Lederer C.M., Shirley V.S. - Table of Isotopes, 7th ed., 1978, John Wiley and Sons, Inc., New York-Chichester-Brisbane-Toronto.
4. Nielsen H.L., Wilsky K. - Nucl.Phys., 1968, A115, p.377.
5. Tuurnala I., Siivola A., Jartti P., Liljavirta I. - Z.Phys., 1974, 266, p.103.
6. Alikov B.A., Kholbaev I., Lizurej H.I., Tsoy E.G., Wawryszak J. - JINR, E6-82-38, Dubna, 1982; Nucl. Phys., 1982, A383, p.333; Аликов Б.А., Ваврыщук Я., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Холбаев И., Цой Е.Г. - Сообщения ОИЯИ, 6-84-121, Дубна, 1984.
7. Аликов Б.А., Будзынски М., Бэдики Т., Ваврыщук Я., Жук В., Ион-Михай Р., Кузнецов В.В., Лизурей Г., Морозов В.А., Муминов Т.М., Холбаев И. - ОИЯИ, Р6-8823, Дубна, 1975; Acta Phys. Polonica, 1976, B7, 1, p.59.
8. Prochaska I., Koniček J., Finger M., Simečková E., Simeček P., Tsupko-Sitnikov V.M., Mähtonen J. - Czech. J. Phys., 1983, B33, p.903.
9. Крецу Т., Кузнецов В.В., Лизурей Г., Горожанкин В.М., Макарие Г. - ОИЯИ, Р6-10562, Дубна, 1977; Изв. АН СССР, сер. физ., 1978, 42, 4, с.56.
10. Абдуразаков А.А., Адиб Ю.Ш., Громов К.Я., Караходжаев А.К., Кузнецов В.В., Сайдимов Я.А., Сэрээтэр Ж., Оманов Ш., Фоминых М.И. - Тез. докл. 39 Совещания "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", 1989, Ташкент, Л.: Наука, с.93.
11. Абдуразаков А.А., Адиб Ю.Ш., Громов К.Я., Караходжаев А.К., Кузнецов В.В., Сайдимов Я.А., Сэрээтэр Ж., Оманов Ш. - Сообщения ОИЯИ, Р6-90-228, Дубна, 1990.

12. Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Усманов Р.Р., Фоминых В.И., Фоминых М.И., Цупко-Ситников В.М. - ОИЯИ, Р6-12810, Дубна, 1979; В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. М.: Атомиздат, 1980, 10, с.269.
13. Громов К.Я., Крецу Т., Кузнецов В.В., Лизурей Г., Горожанкин В.М., Макарие Г. - Сообщения ОИЯИ, Р13-10611, Дубна, 1977; В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. М.: Атомиздат, 1978, 8, с.59. Gretu T., Macarie G., Kuznetsov V.V. - St. Cerc. Fiz., 1979, v.31, No.6, p.611, Bucuresti.
14. Будзяк А.В., Громов К.Я., Кузнецов В.В., Марчук А.А., Усманов Р.Р. - ОИЯИ, Р6-80-668, Дубна, 1980; В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1983, вып.12, с.53.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1990 года.