



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

4399/2-81

31/8-81

P6-81-345

+

Н.Б.Бадалов, А.Будзяк, Ц.Вылов, Ким Зай Те,  
В.В.Кузнецов, Ли Су Чен, А.А.Марчук,  
Ш.Оманов

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ  $^{151}\text{Gd}$   
ПРИ РАСПАДЕ  $^{151}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 16,4$  ч)

Направлено в "Acta Physica Polonica"

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивный распад  $^{151}\text{Tb}$  исследовался ранее в работах /1-15/. Возбужденные состояния  $^{151}\text{Gd}$  изучались также в ядерных реакциях  $(d, p)$ ,  $(d, t)$  /16, 20/,  $(\alpha, 2n)$  /17/,  $(\alpha, 3n)$  /18, 19/ и  $(^3\text{He}, \alpha)$  /20/.

Несмотря на то, что в ряде работ при исследовании излучения  $^{151}\text{Tb}$  применялись различные спектроскопические методы с использованием полупроводниковых детекторов (ПЩ), магнитных спектрометров, а также установок  $\gamma$ - $\gamma$ ,  $e$ - $e$ -совпадений, схема распада этого нуклида была решена недостаточно полно, в ряде случаев наблюдаются неоднозначности в размещении отдельных гамма-переходов и ненадежно введенные уровни  $^{151}\text{Gd}$ .

С целью уточнения схемы распада  $^{151}\text{Tb}$ , энергий, интенсивностей гамма-переходов и, соответственно, баланса интенсивностей и энергий уровней  $^{151}\text{Gd}$ , нами исследовались спектры  $e$ - $\gamma$ -совпадений,  $\gamma$ -лучей и электронов внутренней конверсии (ЗЭК) при распаде  $^{151}\text{Tb}$ .

## 2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Радиоактивные источники тербия получались в реакциях глубокого расщепления тантала (эрбия) протонами с энергией 660 МэВ.

Мишени облучались на внутреннем пучке синхроциклотрона ЛЯП Объединенного института ядерных исследований. Из облученных мишеней радиохимическим методом /21/ выделялся тербий. Моноизотопные источники  $^{151}\text{Tb}$  получались путем внедрения ионов в алюминиевую фольгу толщиной 4,85 мг/см<sup>2</sup> при помощи электромагнитного масс-сепаратора /22, 23/. Источники для измерений приготавливались по методике, описанной в работах /24, 25/.

## 3. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ГАММА-ЛУЧЕЙ

Измерения спектров гамма-лучей  $^{151}\text{Tb}$  проводились на спектрометрах с  $\text{Ge}$ - и  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами. Методика измерений и обработки спектров гамма-лучей подробно изложена в работе /24/.

Низкоэнергетическая часть спектра гамма-лучей ( $E_{\gamma} < 300$  кэВ) изучалась при помощи спектрометров с ПЩ -  $\text{Ge}$ -детектором (100 мм<sup>2</sup> x 7 мм) и  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором (200 мм<sup>2</sup> x 5 мм) с энергетическим разрешением 500 и 550 эВ при  $E_{\gamma} = 122$  кэВ  $^{57}\text{Co}$ , соответственно. Спектр гамма-лучей в области больших энергий измерен на спектрометрах с использованием трех  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов с чувствительными объемами 37,0; 38,0 и 50,0 см<sup>3</sup> и энергетическим разрешением 2,1; 1,9 и 2,1 кэВ при  $E_{\gamma} = 1332$  кэВ  $^{60}\text{Co}$ , соответственно. Характерные аппаратурные спектры гамма-лучей, измеренные нами, приведены в приложении /26/ работы /27/. Экспериментальные данные, полученные из анализа 28 серий измерений

спектров гамма-лучей  $^{151}\text{Tb}$ , представлены в таблице I. Как видно из таблицы I, с высокой точностью определены относительные интенсивности гамма-лучей, обнаружены впервые 43 малоинтенсивных гамма-перехода в области энергий от 200 до 2100 кэВ, нами не наблюдаются гамма-переходы с энергией 212,1 /12/ и 103,8; 118,2; 217,0; 222,0; 255,4; 258,1; 267,0; 348,0; 413,9; 440,2; 539,0; 770,1; 773,2; 901,9; 1003,2; 1069,0; 1084,0; 1130,0; 1360,0; 1593,0; 1644,0 и 1727,5 кэВ /5,10/. Точность определения значений энергий гамма-переходов для интенсивных ( $>5,0$  отн. ед. табл. I) не хуже 20 эВ, для малоинтенсивных ( $<5,0$  отн. ед.) не более 150 эВ, что существенно точнее результатов работ /5,10,12/, уточнены также относительные интенсивности гамма-лучей по сравнению с работами /10,12/.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МУЛЬТИПОЛЬНОСТИ ГАММА-ПЕРЕХОДОВ.

Спектры ЭВК  $^{151}\text{Tb}$  измерялись при помощи спектрометров с  $\text{Si}(\text{Li})$ -детекторами (с разрешением  $\Delta E=1,0-1,5$  кэВ при  $E_e=150$  кэВ) и  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором, помещенным в однородное магнитное поле ( $\Delta E=2,2$  кэВ при  $E_e=150$  кэВ). Характерные аппаратные спектры ЭВК, полученные нами, представлены в приложении /26/ работы /27/. Результаты обработки спектров ЭВК представлены в таблице I. При исследовании спектров впервые определены относительные интенсивности ЭВК переходов с энергиями 239,6; 476,5; 620,4; 656,8; 727,4; 794,1; 811,9; 839,2; 852,6; 865,1; 870,2; 895,8; 966,8; 983,5; 1025,2; 1157,6; 1203,1; 1222,7; 1259,1; 1599,6 и 1689,7 кэВ, уточнены значения относительных интенсивностей K-конверсионных электронов - переходов 395,5; 443,9; 467,6; 479,4; 616,6 и 703,8 кэВ и определены мультиполюсности для многих гамма-переходов, для 21 из них впервые, а именно: 239,6(E2), 476,5(M1), 620,4(E2), 656,8(E2), 727,4(M1+E2), 794,1(M1,E2), 811,9(E2), 839,2(E2), 852,6(M1), 865,1(M1), 870,2(M1), 895,8(M1), 966,8(E2), 983,5(M1), 1025,2(M1), 1157,6(M1), 1203,1(M1), 1222,7(E2), 1259,1(M1), 1599,6(M1) и 1689,7 кэВ (M1). При определении значений  $\alpha_K$  переходов принималось, что гамма-переход с энергией 251,9 кэВ - типа M1 /3,7/ ( $\alpha_K=0,131$  /28/). Погрешности полученных значений  $\alpha_K$  включают в себя погрешности относительных интенсивностей гамма-лучей и ЭВК, а также погрешность определения коэффициента нормировки для их вычисления. Полученные нами значения  $\alpha_K$  и выводы о мультиполюсности гамма-переходов при распаде  $^{151}\text{Tb}$  представлены в таблице I.

#### 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ e- $\gamma$ -СОВПАДЕНИЙ

Измерения спектров e- $\gamma$ -совпадений проводились на установке /29/.

Таблица I  
Энергии, относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей и ЭВК, коэффициенты внутренней конверсии, мультиполюсности и размещение переходов при распаде  $^{151}\text{Tb}$

$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$ (отн. ед.)	$\alpha_K$ (отн. ед.)	$\alpha_K(\alpha_K)^{10^4}$	ML	$E_e$ (кэВ)	$I_e$ (отн. ед.)
119,8(26)	119,8(26)	-	-	-	-	-
209,9(41)	209,9(41)	-	-	-	-	-
64,9(15)	64,9(15)	-	-	-	-	-
16,8(4)	16,8(4)	-	-	-	-	-
87,6(17)	87,6(17)	1050(51)	1126(590)	M1+E2	109,123	0
139,99(5)	0,14(5)	-	-	-	1130,232	1052,239
148,734(30)	0,55(8)	-	-	-	-	-
149,00(5)	0,75(11)	-	-	-	575,691	426,718
180,799(10)	1,88(7)	5,1(13)	2548(654)	E2	507,478	426,718
180,130(9)	42,3(8)	147(4)	263(108)	M1	575,691	395,494
191,981(7)	13,50(26)	42,8(14)	2963(110)	M1	577,478	395,494
224,85(16)	0,32(4)	-	-	-	-	-
236,20(5)	0,30(4)	0,64(19)	2024(656)	M1	811,883	575,691
239,56(7)	0,71(8)	0,74(9)	379(122)	E2	1745,09	1505,526
248,236(17)	0,82(9)	-	-	-	1087,569	839,360
251,92(9)	95,9(18)	133,8(28)	1310	M1	839,360	587,478
263,648(19)	0,75(10)	0,51(16)	638(224)	E2	839,360	575,691
297,972(11)	100,0(20)	100,0(32)	939(36)	M1	395,494	108,123
318,896(12)	1,30(14)	0,64(18)	462(138)	E2	426,718	108,123
354,21(12)	0,060(30)	0,033(6)	317(218)	M1	-	-
388,30(18)	0,028(6)	-	-	-	1435,48	1087,569
378,0(5)	0,06(1)	0,03(1)	461(198)	M1	2118,99	1740,84
380,343(9)	17,23(38)	1,33(17)	73(10)	M1+E2	1130,232	811,883
385,167(10)	3,63(9)	1,47(6)	380(18)	E2	811,883	426,718
395,494(14)	36,7(8)	8,9(6)	216(18)	E2	395,494	0
401,9(5)	0,07(4)	0,04(2)	435(387)	E2	2135,27	1788,91
406,33(16)	0,34(8)	0,07(3)	198(88)	M1	811,883	395,494
418,385(11)	6,88(14)	2,82(6)	344(11)	E2	426,718	0
426,718(16)	15,48(34)	5,63(13)	342(11)	M1+E2	839,360	395,494
443,865(10)	38,3(8)	11,46(16)	280(7)	E2	-	-
451,73(9)	0,08(1)	0,018(8)	176(97)	-	-	-
480,451(34)	0,18(3)	-	-	-	575,691	108,123
487,586(11)	3,39(8)	0,48(19)	133(53)	M1	1052,232	575,691
476,526(18)	5,08(31)	1,22(8)	227(21)	E2	587,478	108,123
479,365(13)	55,8(11)	6,1(9)	137(15)	M1+E2	1087,569	587,478
500,109(15)	1,65(5)	0,30(4)	171(24)	M1	-	-
508,2(6)	0,12(5)	0,029(7)	227(109)	M1	1087,569	575,691
511,897(17)	2,79(20)	0,62(13)	208(94)	M1	-	-
534,62(4)	0,43(21)	0,019(4)	42(9)	M1	1124,726	587,478
537,242(17)	1,97(8)	-	-	-	1687,94	1124,726
563,19(5)	0,267(22)	0,083(6)	187(26)	E2	-	-
572,5(6)	0,073(28)	0,008(2)	77(37)	M1	-	-
579,4(5)	0,078(11)	0,012(4)	180(56)	E2	587,478	0
587,478(12)	87,8(32)	5,31(34)	88(8)	E2	1130,232	587,478
604,743(12)	12,04(24)	0,34(7)	27(6)	M1	1130,232	575,691
616,541(12)	37,3(7)	1,22(24)	32(6)	E2	1745,09	1124,726
620,366(28)	1,48(12)	0,104(24)	67(17)	E2	-	-
644,78(14)	0,180(29)	-	-	-	1052,232	395,494
656,780(24)	2,02(5)	0,098(38)	46(19)	E2	1087,569	426,718
680,364(23)	1,98(5)	-	-	-	1937,39	1288,76
671,491(19)	0,148(21)	0,016(6)	102(41)	M1	1087,569	395,494
692,086(15)	6,08(14)	0,44(12)	68(19)	M1	811,883	108,123
703,768(13)	13,58(29)	1,41(6)	30(5)	M1+E2	839,360	108,123
727,43(13)	0,89(7)	0,086(8)	70(9)	-	-	-
731,242(15)	29,8(7)	1,47(7)	46(3)	E2	-	-
748,98(18)	0,084(15)	-	-	-	1157,964	395,494
762,464(22)	1,21(5)	0,023(2)	19(2)	E2	-	-

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5	6	7
765,91(30)	0,092(21)	-	-	-	1577,73	811,883
788,21(12)	0,129(20)	0,007(2)	49(15)	E2	-	-
794,07(7)	0,344(30)	0,022(8)	67(23)	MI, E2	1707,66	913,594
805,468(18)	2,80(8)	0,211(10)	70(4)	MI	913,594	108,123
811,894(25)	0,639(27)	0,024(13)	33(1)	E2	811,893	0
839,21(11)	0,110(17)	0,004(1)	34(10)	E2	1265,76	426,718
842,30(6)	0,314(24)	-	-	MI	2034,56	1192,232
852,54(4)	0,240(21)	0,014(2)	55(5)	E2	-	-
865,070(30)	0,542(18)	0,030(2)	82(4)	MI	1778,753	813,894
870,19(27)	0,107(28)	0,007(1)	62(19)	MI	1265,76	396,494
873,87(21)	0,10(4)	-	-	-	-	-
880,76(7)	0,431(27)	-	-	-	1456,48	575,691
884,10(6)	0,780(35)	0,025(35)	30(3)	E2	1279,59	396,494
890,80(37)	0,059(21)	0,009(21)	-	-	1978,35	1087,589
895,76(13)	0,063(22)	0,005(1)	75(30)	MI	1707,66	811,883
905,723(21)	3,75(9)	0,120(3)	30(3)	E2	1745,09	839,380
913,536(39)	0,583(25)	0,018(2)	29(4)	E2	913,594	0
918,04(6)	0,213(17)	-	-	-	1505,526	887,478
938,84(4)	0,872(39)	0,032(4)	53(8)	MI	-	-
946,98(9)	0,367(29)	0,014(4)	36(11)	E2, MI	2034,56	1087,589
957,09(16)	0,191(27)	0,006(1)	30(7)	E2	-	-
966,83(13)	0,151(28)	0,005(1)	31(9)	E2	1778,753	811,883
967,4(6)	0,06(6)	-	-	-	-	-
974,27(8)	0,343(31)	-	-	-	-	-
979,467(33)	1,87(8)	0,044(3)	26(2)	E2	1087,589	108,123
983,47(17)	0,803(25)	0,023(2)	43(4)	E2	2071,03	1087,589
993,30(37)	0,086(28)	-	-	-	1577,73	587,478
1009,845(37)	0,606(29)	0,024(1)	37(2)	MI	2097,43	1087,589
1025,21(7)	0,709(31)	0,027(8)	36(12)	MI	-	-
1029,75(11)	0,373(14)	-	-	-	1456,48	426,718
1050,61(9)	0,876(30)	0,010(3)	16(5)	E2	-	-
1052,20(36)	0,523(27)	-	-	-	1032,232	0
1060,96(30)	0,797(7)	0,023(4)	28(6)	MI	1456,48	396,494
1078,80(16)	0,276(24)	-	-	-	1505,526	426,718
1087,55(27)	0,041(10)	-	-	-	1087,589	0
1091,08(8)	0,225(24)	-	-	-	-	-
1098,056(33)	0,379(17)	-	-	-	1327,39	639,380
1110,018(26)	3,33(7)	-	-	-	1505,526	396,494
1120,16(18)	0,243(20)	-	-	-	1707,66	887,478
1125,90(21)	0,15(5)	-	-	-	2391,75	1265,76
1131,96(6)	0,286(33)	-	-	-	1707,66	575,691
1161,00(16)	0,128(21)	-	-	-	1577,73	426,718
1197,628(33)	0,664(27)	0,024(5)	34(7)	MI	1265,76	108,123
1163,12(17)	0,240(37)	-	-	-	-	-
1171,48(4)	2,24(8)	0,070(5)	29(3)	MI	1279,59	108,123
1182,223(35)	1,03(8)	-	-	-	1577,73	396,494
1191,35(6)	0,897(26)	0,020(4)	32(7)	MI	1778,753	887,478
1196,22(5)	0,47(7)	-	-	-	2034,56	839,380
1203,14(10)	0,132(20)	0,004(1)	28(8)	MI	1778,753	875,691
1206,8(8)	0,031(18)	-	-	-	-	-
1213,24(12)	0,238(27)	-	-	-	1788,91	875,691
1217,74(32)	0,280(21)	-	-	-	-	-
1222,861(28)	1,98(8)	0,033(4)	16(2)	E2	2034,56	811,883
1231,87(7)	0,889(23)	-	-	-	2071,03	839,380
1237,1(4)	0,109(29)	-	-	-	-	-
1248,18(18)	0,178(21)	-	-	-	-	-
1259,13(15)	0,314(32)	0,009(1)	27(4)	MI	2071,03	811,883

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5	6	7
1264,30(26)	0,107(22)	-	-	-	-	-
1269,9(5)	0,069(17)	-	-	-	-	-
1280,92(6)	0,90(5)	0,010(1)	19(3)	MI	1707,66	426,718
1297,92(13)	0,138(24)	-	-	-	-	-
1312,148(31)	2,32(6)	0,055(5)	22(2)	MI	1707,66	396,494
1319,88(20)	0,100(29)	-	-	-	1746,603	426,718
1339,42(26)	0,072(21)	-	-	-	2391,75	1052,232
1345,3(6)	0,025(11)	-	-	-	1740,84	396,494
1348,35(5)	0,784(25)	-	-	-	1456,48	108,123
1382,023(37)	1,036(29)	-	-	-	1778,753	426,718
1382,18(5)	0,542(30)	0,010(3)	17(5)	MI	1788,91	426,718
1369,48(14)	0,189(14)	-	-	-	-	-
1383,461(34)	1,27(4)	0,023(3)	17(3)	MI	2196,27	811,883
1397,33(28)	0,264(28)	-	-	-	1505,526	108,123
1410,16(19)	0,120(16)	0,003(1)	24(9)	MI	-	-
1447,05(14)	0,222(28)	-	-	-	2034,56	587,478
1480,82(16)	0,238(39)	-	-	-	-	-
1486,44(13)	0,190(29)	-	-	-	1456,48	0
1483,538(37)	1,91(6)	0,036(7)	18(4)	MI	2071,03	587,478
1496,326(27)	0,888(37)	-	-	-	2071,03	575,691
1509,8(7)	0,071(39)	-	-	-	2097,43	587,478
1548,20(9)	0,019(9)	-	-	-	-	-
1566,78(27)	0,122(27)	-	-	-	-	-
1575,41(21)	0,063(9)	-	-	-	1687,94	108,123
1579,83(8)	0,136(11)	-	-	-	-	-
1588,20(18)	0,080(11)	-	-	-	1707,66	108,123
1599,86(18)	0,304(22)	0,016(5)	17(5)	MI	-	-
1606,97(16)	0,116(18)	-	-	-	-	-
1619,6(5)	0,017(8)	-	-	-	2196,27	575,691
1632,70(14)	0,328(13)	-	-	-	1740,84	108,123
1638,47(10)	0,30(4)	-	-	-	1746,603	108,123
1648,92(26)	0,11(6)	-	-	-	-	-
1670,81(7)	2,25(9)	0,038(8)	16(4)	MI	1778,753	108,123
1676,66(27)	0,137(20)	-	-	-	2071,03	396,494
1680,76(10)	0,081(27)	-	-	-	1788,91	108,123
1689,65(15)	0,378(18)	0,006(1)	18(3)	MI	-	-
1708,06(33)	0,098(8)	-	-	-	-	-
1720,48(8)	0,237(19)	-	-	-	2115,99	396,494
1746,5(8)	0,094(13)	-	-	-	1746,603	0
1748,81(28)	0,061(10)	-	-	-	-	-
1789,88(24)	0,039(6)	-	-	-	-	-
1778,78(8)	0,306(16)	-	-	-	1778,753	0
1810,85(14)	0,044(10)	-	-	-	-	-
1816,03(7)	0,446(36)	-	-	-	2391,75	875,691
1870,31(7)	0,339(14)	-	-	-	1778,753	108,123
1888,83(18)	0,037(10)	-	-	-	-	-
1902,84(20)	0,040(8)	-	-	-	-	-
1941,89(18)	0,038(10)	-	-	-	-	-
1988,3(4)	0,022(10)	-	-	-	2071,03	108,123
1988,88(24)	0,078(9)	-	-	-	-	-
1998,40(4)	0,041(16)	-	-	-	-	-
1998,31(14)	0,088(7)	-	-	-	2391,75	396,494
2020,98(9)	0,078(8)	-	-	-	-	-
2023,83(12)	0,088(7)	-	-	-	-	-
2026,11(12)	0,084(14)	-	-	-	-	-
2028,71(23)	0,088(14)	-	-	-	-	-
2097,38(14)	0,081(5)	-	-	-	2097,43	0

созданной на базе безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем, и спектрометра с  $Ge(Li)$ -детектором. Разрешающее время быстрой схемы совпадений составляло  $2\tau = 50$  нс.

В экспериментах исследовались совпадения гамма-лучей с ЭВК  $K108, I$ ;  $K192, I$ ;  $K251, 9$ ;  $K287, 2$  и  $K426, 6$   $^{151}Tb$ .

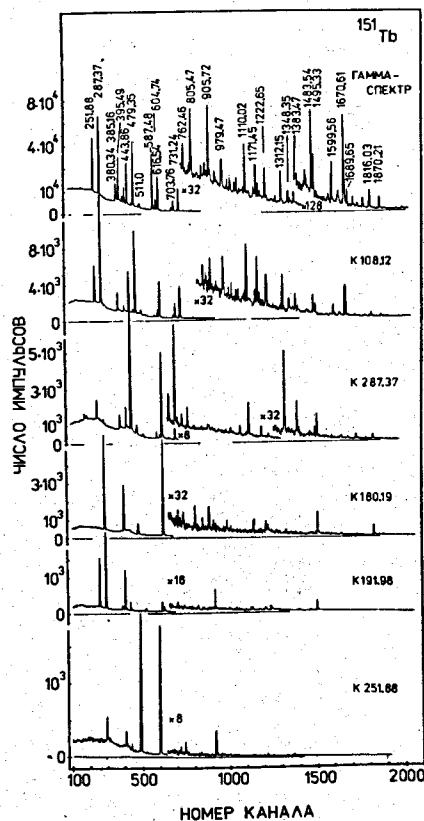


Рис. 1. Спектры  $\gamma$ -лучей  $^{151}Tb$  и совпадений с ЭВК  $K108, I$ ;  $K287, 37$ ;  $K180, I$ ;  $K191, 98$  и  $K251, 88$ .

### 6. СХЕМА РАСПАДА $^{151}Tb$ .

На основании анализа спектров гамма-лучей, ЭВК и  $e$ - $\gamma$ -совпадений предлагается схема распада  $^{151}Tb \rightarrow ^{151}Gd$  (рис. 3 и 4, таблица 4).

Спектры  $e$ - $\gamma$ -совпадений при распаде  $^{151}Tb$  представлены на рис. 1 и 2. Число случайных совпадений, наблюдаемых нами в экспериментах, не превышало 3% от числа истинных совпадений.

Информация о совпадениях накапливалась в памяти 4096-канального амплитудного анализатора  $\alpha A-70$ . Обработка спектров  $e$ - $\gamma$ -совпадений проводилась относительным методом, подробно описанным в работе [30] при помощи ЭВМ по программе "КАТОК" [31].

Относительные интенсивности гамма-лучей, наблюдаемых в спектрах совпадений, приведены в таблицах 2 и 3, там же даны рассчитанные их значения на основании предложенной нами схемы распада  $^{151}Tb$ .

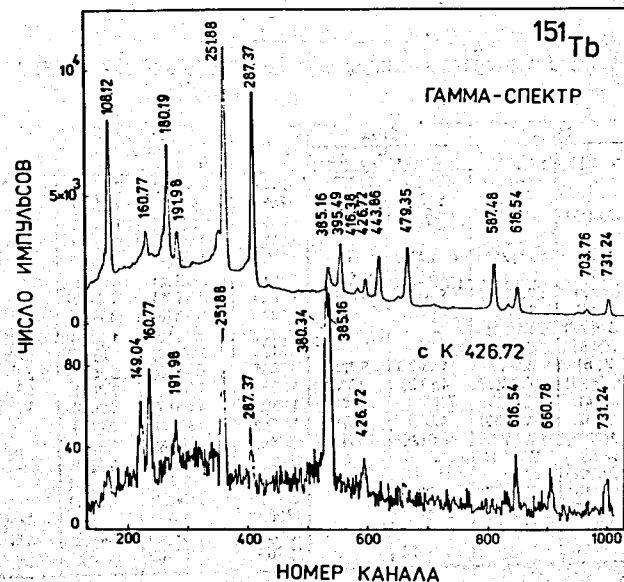


Рис. 2. Спектры  $\gamma$ -лучей  $^{151}Tb$  и совпадений с ЭВК  $K426, 72$ .

Введение уровней  $^{151}Gd$ , в основном, подкреплено наблюдаемыми  $e$ - $\gamma$ -совпадениями. Энергии уровней рассчитывались с использованием всех комбинаций сумм и разностей энергий переходов для определенных состояний, при этом учитывались энергии отдачи ядра. Погрешности определения энергии уровней  $^{151}Gd$  составляют 10 - 100 эВ.

В схеме распада  $^{151}Tb$  размещено 113 переходов из 167 наблюдаемых. Суммарная интенсивность неразмещенных переходов составляет примерно 2% на распад  $^{151}Tb$ . При расчете значений  $\log ft$  разности масс  $Q_{\beta} = 2562(5)$  кэВ  $^{151}Tb$ , за 100% интенсивности на распад  $^{151}Tb$  принята суммарная интенсивность переходов в основное состояние  $^{151}Gd$ , равная 363(6) отн.ед. таблицы I.

Введенные в работах [10, 12] уровни с энергиями 743,2; 766,1; 775,3; 835,4; 853,0; 905,7; 957,2; 1001,0; 1216,1; 1298,7; 1349,5; 1392,6 кэВ  $^{151}Gd$  и 1232,4; 1676,5; 1798,0; 1975,3 кэВ  $^{151}Gd$  нами не подтверждены.

На основании анализа экспериментальных результатов введены дополнительно состояния  $^{151}Gd$  с энергиями 1265,76(4), 1279,59(4), 1687,94(6), 1788,91(6), 2034,56(5), 2115,99(7), 2195,27(5) кэВ.

Таблица 2  
Интенсивности совпадений  $\gamma$ -лучей с ЭВК К108,1 и К287,4  $^{151}\text{Tb}$

$E_{\gamma}$ , кэВ	К108,1		К287,4		$E_{\gamma}$ , кэВ	К108,1		К287,4	
	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.		$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.
180,2	-	-	100(3)	100(3)	884,1	0,54(19)	0,56(5)	2,1(7)	1,69(20)
192,0	-	-	25(6)	29,2(33)	905,7	1,47(12)	1,56(4)	-	-
251,9	4,54(15)	49(4)	25,8(16)	26,1(32)	979,5	1,83(24)	1,60(5)	-	-
287,4	100(3)	100(2)	-	-	1061,0	0,41(13)	0,56(5)	2,0(4)	1,7(3)
380,4	13,3(31)	13,1(28)	10,4(8)	10,5(13)	1110,0	2,42(26)	2,39(4)	7,1(5)	7,2(8)
416,4	4,7(4)	5,1(6)	17,1(9)	14,9(17)	1152,6	0,55(10)	0,66(2)	-	-
443,9	26,6(22)	27,6(37)	89,7(39)	84(10)	1171,5	2,33(19)	2,24(5)	-	-
487,6	2,9(10)	3,4(11)	-	-	1182,2	0,71(16)	0,74(4)	2,8(6)	2,23(26)
479,4	53,7(23)	55,4(12)	-	-	1222,7	1,17(12)	1,3(5)	0,92(9)	1,06(13)
500,1	0,95(8)	0,85(8)	-	-	1312,2	1,53(13)	1,66(7)	5,0(137)	5,0(6)
511,9	8,3(6)	3,0(2)	1,93(23)	5,7(8)	1383,5	0,91(10)	0,94(4)	0,93(11)	0,77(9)
604,8	6,03(33)	6,23(37)	4,3(9)	3,36(39)	1483,6	2,9(5)	3,8(5)	0,70(6)	0,53(7)
616,6	25,6(14)	27,0(23)	79(5)	76(8)	1495,3	0,54(7)	0,64(3)	1,61(37)	1,60(20)
656,8	1,28(12)	1,45(12)	4,5(5)	4,4(5)	1579,8	0,13(4)	0,13(1)	-	-
692,1	4,18(27)	4,35(20)	14,0(20)	13,2(15)	1599,6	0,71(8)	0,89(3)	-	-
703,8	12,4(4)	13,5(3)	-	-	1632,7	0,45(17)	0,32(1)	-	-
731,3	28,0(10)	29,8(7)	-	-	1638,5	0,30(9)	0,31(4)	-	-
762,5	0,98(16)	0,87(10)	3,2(5)	2,6(3)	1670,6	2,09(31)	2,25(9)	-	-
805,5	2,74(23)	2,82(8)	-	-	1720,5	-	-	0,49(11)	0,51(6)
865,1	0,53(11)	0,54(2)	-	-	1816,0	0,38(10)	0,44(4)	7,5(12)	9,0(10)
					1870,2	0,21(10)	0,33(2)	-	-

Таблица 3  
Интенсивности совпадений  $\gamma$ -лучей с ЭВК К192,0; К180,2; К251,9 и К426,7  $^{151}\text{Tb}$

$E_{\gamma}$ , кэВ	К192,0		К180,2		К251,9		К426,7	
	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.	$I_{e-\gamma}$ эксл.	$I_{e-\gamma}$ расч.
149,0	-	-	-	-	-	-	3,81(29)	2,43(14)
160,8	-	-	-	-	-	-	13,1(3)	12,4(10)
251,9	100(4)	100(9)	-	-	-	-	-	-
287,4	105(8)	104(14)	100(8)	100(11)	26(3)	24(6)	-	-
380,4	-	-	1,55(4,0)	1,01(31)	-	-	100(7)	100(10)
385,2	-	-	-	-	-	-	4,79(8)	49,2(14)
395,5	40,1(51)	35,6(41)	36,4(35)	38,7(21)	12,9(24)	9,3(36)	-	-
426,7	-	-	-	-	4,8(13)	3,7(14)	-	-
479,4	-	-	-	-	100(15)	100(7)	-	-
500,1	1,27(47)	1,73(52)	-	-	-	-	-	-
511,9	-	-	0,89(10)	0,73(11)	-	-	-	-
537,3	1,27(52)	2,05(33)	-	-	-	-	-	-
567,5	-	-	-	-	108(7)	103(18)	-	-
604,8	13,1(9)	12,5(7)	-	-	-	-	-	-
616,6	-	-	81,7(62)	91,4(87)	-	-	-	-
660,9	-	-	-	-	-	-	23,1(21)	26,3(24)
880,8	-	-	0,52(18)	0,83(25)	-	-	-	-
905,7	1,95(21)	2,01(15)	-	-	4,9(11)	5,08(104)	-	-
1132,0	-	-	0,77(8)	0,66(17)	-	-	-	-
1213,3	-	-	0,62(7)	0,62(10)	-	-	-	-
1495,3	-	-	2,22(19)	2,36(21)	-	-	-	-
1816,0	-	-	0,87(8)	0,94(11)	-	-	-	-

Уровень 1265,76 кэВ ( $3/2^-$ ,  $5/2^-$ ) введен на основании совпадений К108,1 с 1157,63 кэВ. Этот уровень разряжается переходами 1157,63 кэВ М1, 870,19 кэВ М1 и 839,21 кэВ Е2 на состояния 108,12 кэВ  $5/2^-$ , 395,49-кэВ  $3/2^-$  и 426,72 кэВ  $5/2^-$ , соответственно.

Уровень 1279,59 кэВ ( $3/2^-$ ,  $7/2^-$ ) введен на основании е- $\gamma$ -совпадений, его разряжают два перехода 1171,45 кэВ М1 и 884,1 кэВ Е2 на уровни 108,12 кэВ  $5/2^-$  и 395,50 кэВ  $3/2^-$ , соответственно.

Состояние с энергией 1687,94 кэВ введено на основании наблюдения (К108,12 -  $\gamma$  1579,83)-совпадений и разряжается переходами 563,19 кэВ М1 и 1579,83 кэВ.

Уровень 1788,91 кэВ ( $3/2^-$ - $7/2^-$ ) разряжается переходами 1680,76 кэВ, 1362,18 кэВ М1 и 1213,24 кэВ.

Уровни 2034,56 кэВ ( $3/2^-$ - $7/2^-$ ), 2115,99 кэВ и 2195,27 кэВ введены также на основании е- $\gamma$ -совпадений; первый из них разряжается переходами 1447,05 кэВ, 1222,65 кэВ Е2, 1195,22 кэВ, 946,98 кэВ Е2, М1 и 842,3 кэВ; второй - 1720,48 кэВ и 375,0 кэВ М1; третий - 1619,6 кэВ, 1383,46 кэВ М1 и 406,33 кэВ Е2.

Спины и четности возбужденных состояний  $^{151}\text{Gd}$  определены нами в основном, по данным о мультипольностях гамма-переходов, выводы о которых для нижних состояний вплоть до уровня 587,48 кэВ совпадают с данными предыдущих работ /10-12,32/.

Следует обратить внимание особо на уровень с энергией 839,36 кэВ. При исследовании угловых корреляций направлений при распаде  $^{151}\text{Tb}$  авторами работы /32/ этому уровню приписываются спин и четность  $1/2^-$ . В других работах, выполненных ранее, в том числе в /11/ по исследованию угловых корреляций направлений, этому состоянию приписаны спин и четность  $3/2^-$ . Как видно из таблицы 1 и схемы распада  $^{151}\text{Tb}$  (рис. 3 и 4, таблица 4), нами наблюден гамма-переход с энергией 839,2 кэВ типа Е2. С одной стороны, если предположить, что он разряжает состояние 839,36 кэВ, то этому уровню следует приписать однозначно спин и четность  $3/2^-$ . С другой стороны, по энергетическим соображениям этот переход можно разместить между уровнями 1265,75 и 426,72 кэВ. Однако в спектре совпадений гамма-лучей с ЭВК К426,72 из-за недостаточной статистики мы не обнаружили гамма-лучей этого перехода. Мы могли бы обнаружить эти совпадения только в случае  $J_{\gamma 839} > 0,3$  (отн. ед. таблица 1).

Наблюдение совпадений (К426,7  $\gamma$  731,2) указывает на существование перехода с интенсивностью 1,5(4) отн. ед. с энергией, близкой к энергии интенсивного перехода 731,24 кэВ ( $J_{\gamma} = 29,9$  отн. ед.). Обнаруженный переход следует разместить между уровнями 1157,93 и 426,72 кэВ.

Спин  $^{151}\text{Tb}$   $I = 1/2$  определен экспериментально авторами работы

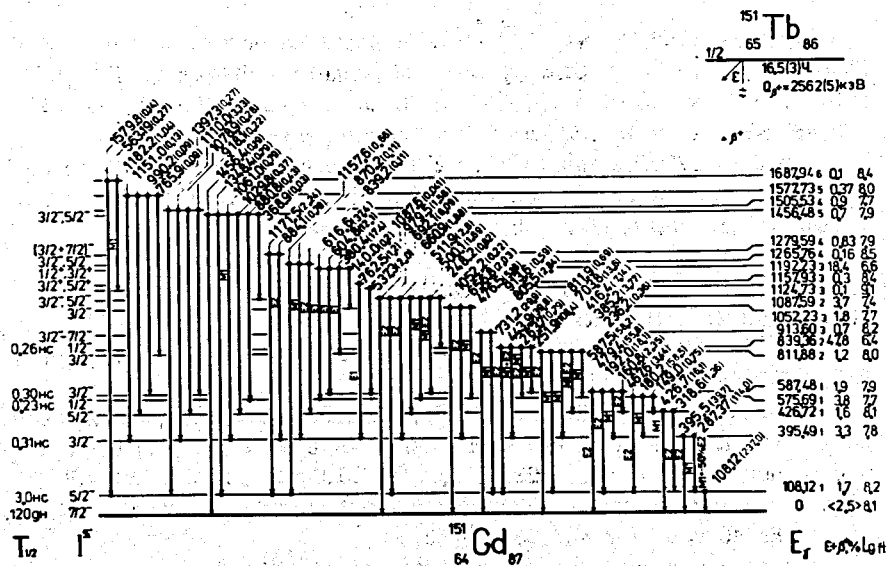


Рис. 3. Схема распада  $^{151}\text{Tb}$ , часть 1.

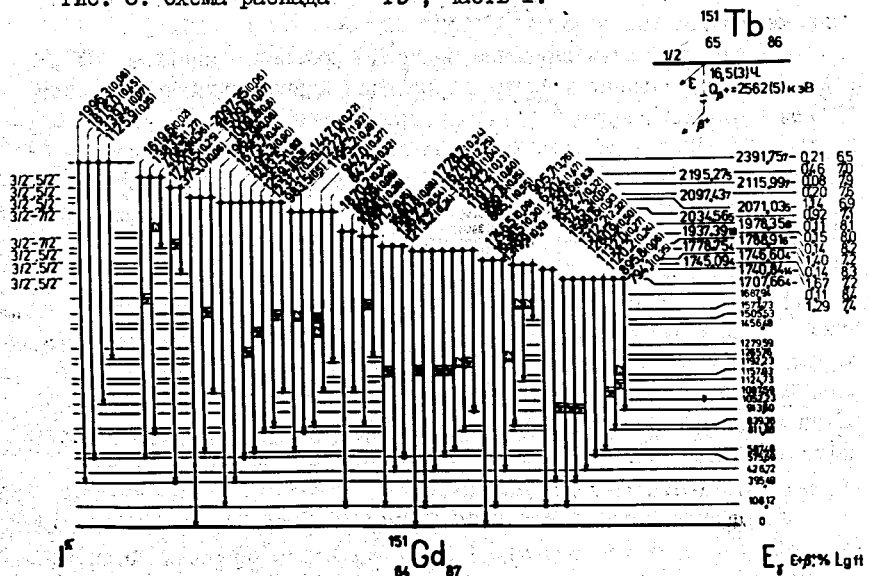


Рис. 4. Схема распада  $^{151}\text{Tb}$ , часть 2.

Таблица 4  
Данные о схеме распада  $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$

$T_{1/2} (\text{мл.тп.})$	$\Gamma^{\#}$	$\log ft$	РАЗРЕШКА				
			$\log ft$	$\log ft$	$\log ft$	$\log ft$	$\log ft$
0	7/2	2,80(7)	8,1	-	-	-	-
108,123(7)	5/2	1,7(9)	8,2	108,123	237	MI+50%E2	0
386,494(9)	3/2	3,3(4)	7,8	287,372	114	MI	108,123
426,718(11)	5/2	1,55(12)	8,1	395,494	39,7	E2	0
426,718(11)	5/2	1,55(12)	8,1	318,595	1,36	E2	108,123
426,718(11)	5/2	1,55(12)	8,1	426,718	16,1	MI	0
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	149,00	0,75	-	426,718
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	180,193	58,5	MI	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	467,566	3,44	E2	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	180,789	2,35	E2	426,718
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	191,981	18,1	MI	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	479,355	55,8	E2	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	567,478	58,2	E2	0
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	236,20	0,36	MI	578,691
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	395,167	3,77	MI+E2	426,718
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	418,385	7,14	MI	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	703,798	13,6	MI	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	811,884	0,70	E2	0
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	251,882	108,4	MI	567,478
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	263,648	0,79	E2	578,691
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	443,065	39,8	MI+E2	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	731,240	29,9	E2	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	805,468	2,84	MI	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	813,066	0,59	E2	0
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	476,528	5,18	MI	578,691
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	656,760	2,03	E2	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	1082,20	0,22	-	0
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	248,238	0,82	-	878,691
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	800,109	1,68	MI+E2	567,478
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	811,897	2,80	MI	578,691
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	880,854	1,88	-	426,718
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	692,086	6,09	E2	395,494
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	979,467	1,58	E2	108,123
878,691(14)	1/2	3,8(5)	7,7	1087,58	0,041	-	0
1124,728(26)	3/2	0,07(4)	9,1	837,242	8,98	-	567,478
1187,884(28)	3/2	0,34(2)	8,4	782,484	1,21	MI	395,494
1188,232(28)	1/2	18,43(24)	8,6	139,99	0,19	-	108,123
1188,232(28)	1/2	18,43(24)	8,6	380,343	17,4	MI	811,883
1188,232(28)	1/2	18,43(24)	8,6	819,541	12,1	MI	567,478
1268,76(4)	3/2	0,16(2)	8,6	808,21	0,11	E2	426,718
1268,76(4)	3/2	0,16(2)	8,6	870,19	0,11	MI	395,494
1278,88(4)	3/2	0,83(2)	7,9	1167,625	0,67	E2	108,123
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	884,10	0,78	E2	395,494
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	1171,45	2,24	MI	108,123
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	368,90	0,03	-	1087,58
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	880,78	0,43	-	578,691
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	1028,78	0,37	-	426,718
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	1080,95	0,78	MI	395,494
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	1348,36	0,79	-	108,123
1488,48(8)	3/2	0,72(2)	7,9	1488,44	0,19	-	0
1808,828(38)	0,90(3)	7,7	7,7	918,04	0,22	-	567,478
1808,828(38)	0,90(3)	7,7	7,7	1078,88	0,28	-	426,718
1808,828(38)	0,90(3)	7,7	7,7	1110,018	3,33	-	395,494
1808,828(38)	0,90(3)	7,7	7,7	1387,33	0,27	-	108,123

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
1877,75(8)		0,57(1)	8,0	788,91 981,20 1181,00 1182,223	0,09 0,19 1,04	-	811,863 897,478 898,494
1887,94(8)		0,11(1)	8,4	863,19 1079,83	0,27 0,14	MI	1124,798 108,123
1707,88(4)	3/2-, 5/2+	1,29(3)	7,4	794,07 898,76 1120,16 1131,86 1281,92 1312,148 1899,86	0,38 0,065 0,24 0,27 0,80 2,32 0,91	MI, K2 MI - - MI MI MI	813,884 811,863 897,478 878,881 898,478 898,494 108,123
1740,84(14)		0,08(1)	8,5	1345,3 1634,70	0,03 0,33	-	898,494 108,123
1748,09(4)	3/2-, 5/2+	1,87(6)	7,2	239,86 631,388 906,723	0,83 1,47 3,76	K2 K2 K2	1898,898 1124,798 838,380
1748,803(38)		0,14(2)	8,3	1319,88 1638,47 1748,8 868,070 988,83	0,10 0,30 0,10 0,55 0,18	- - - MI K2	898,478 108,123 0 913,894 811,863
1778,783(38)	3/2-, 5/2+	1,40(4)	7,8	1191,28 1203,14 1388,023 1670,81 1778,78	0,60 0,13 1,04 2,28 0,34	MI - - MI -	897,478 878,881 898,478 898,494 898,494
1788,81(6)	3/2- 3/2+	0,14(1)	8,2	1213,24 1388,18 1880,78	0,24 0,54 0,08	MI MI MI	898,494 898,494 1288,78
1807,38(18)		0,18(1)	8,0	871,88 1088,088	0,18 0,38	MI -	838,380 1087,889
1878,38(8)		0,11(1)	8,1	881,88 1870,21	0,08 0,34	- -	1087,889 108,123
2034,88(8)	3/2- 3/2+	0,98(2)	7,1	842,30 948,98 1198,28 1222,801	0,32 0,37 0,47 1,98	- MI, K1 - K2	1198,232 1087,889 838,380 811,863
2071,03(8)	3/2-, 5/2+	1,14(3)	6,9	1447,08 883,47 1231,47 1288,13 1483,838 1488,328 1678,88	0,22 0,81 0,89 0,32 1,81 0,88 0,14	- MI MI MI MI MI -	897,478 1087,889 838,380 811,863 897,478 878,881 898,494
2087,48(7)	3/2-, 5/2+	0,30(1)	7,6	1888,88 1888,8 2087,38	0,08 0,07 0,08	MI MI MI	108,123 1087,889 897,478
2113,88(7)		0,08(1)	7,9	378,0 1720,88	0,08 0,24	MI	1740,84 898,494
2198,27(8)	3/2-, 5/2+	0,80(3)	7,0	408,33 1383,851	0,38 1,87	K2 MI	1788,81 811,863
2288,76(7)		0,21(2)	6,5	1613,4 1128,83 1288,48 1814,03 1988,32	0,017 0,18 0,07 0,48 0,08	- - - - -	878,881 1288,78 1288,232 878,881 898,494

/33/. Основное состояние  $^{151}\text{Tb}$  интерпретируется ими как одночастичное нильссоновское состояние  $1/2^-/550/$ .  
 Согласно исследованиям Экстрема и др. /34/, модели оболочек Майер и сравнению с соседними ядрами ( $^{143}\text{Nd}$ ,  $^{145}\text{Sm}$ ,  $^{145}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ) основному состоянию  $^{151}\text{Gd}$  следует приписать спин и четность  $7/2^-(f7/2)$ .

$^{151}\text{Gd}$  находится на границе области деформированных ядер, где проявляются свойства, присущие как сферическим, так и деформированным нуклидам. В литературе имеется ряд предложений для объяснения свойств этого ядра. Первые из них были сделаны в работах /10-12/, они относились в основном к интерпретации нижних возбужденных состояний  $^{151}\text{Gd}$ .

Из систематики ротационных и квазиротационных полос четно-четных изотопов самария и гадолиния Хаммарен и др. /12/ сделали заключение о наличии небольшой деформации у ядра  $^{151}\text{Gd}$ - $0,12 \leq \beta_2 \leq 0,17$ .

Аликовым и др. /35/ были рассчитаны полные энергии нечетных изотопов тербия с  $A=149-157$  по методу Струтинского с учетом оболочечной поправки в зависимости от квадрупольной и гексадекапольной деформаций для нижних одночастичных состояний. Авторы /35/ делают вывод, что  $^{151}\text{Tb}$  в основном состоянии имеет небольшую деформацию  $\beta_2 = -0,1$ .

Однако удовлетворительного теоретического описания свойств возбужденных состояний  $^{151}\text{Gd}$  пока не имеется.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.W.Mihelich, V.Harmatz, T.H.Handley, Phys.Rev., 1957, 108, 989
2. Н.М.Антоньева и др., ДАН СССР, 1958 г., 119, с.241
3. V.Harmatz, T.H.Handley, J.W.Mihelich, Phys.Rev., 1968, 128, 1186
4. А.Т.Стригачев и др., Изв.АН СССР, сер.физ., 1961, 25, с.813
5. К.Вильский, В.В.Кузнецов и др., ЯФ, 1967, 6, с.672
6. Б.С.Джеленов, П.А.Тишкин, И.А.Шипелов, Программа и тезисы докладов ХУП ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд."Наука", М., 1967, с.59
7. J.Kormicki et al, Nucl.Phys., 1967, A100, 297
8. А.Балацца и др., Acta Phys.Polon., 1969, 36, 1099
9. В.А.Морозов, Т.М.Муминов, В.И.Разов, ОИЯИ, 6-4406, Дубна, 1969
10. М.Гонсигор и др., Acta Phys.Polon., 1971, B2, 307



11. Я. Ваврышук и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 1972, 36, с. 757
12. E. Nammarén et al, Z. Phys., 1975, A272, 341
13. И. И. Громова и др., Тезисы докладов XXVII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, изд. "Наука", Л., 1977, с. 78
14. Т. Крецу и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, с. 2032
15. А. В. Будзяк и др., ОИЯИ, Д6-11574, Дубна, 1978, с. I21
16. P. O. Tjøm, V. Elbek, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selskab., 1967, 36, 8
17. H. J. Smith et al, Phys. Rev. Lett., 1973, 31, 944
18. P. Kleinheinz et al, Phys. Rev. Lett., 1974, 32, 68
19. P. Kleinheinz et al, Nucl. Phys., 1972, A283, 189
20. G. Lovhoiden, D. G. Burke, Can. J. Phys., 1975, 53, 1182
21. Ф. Молнар, В. А. Халкин, Э. Херрманн, ЭЧАЯ, 1973, 4, вып. 4, с. 1077
22. В. П. Афанасьев и др., ОИЯИ, I3-4763, Дубна, 1969
23. В. Жук и др., ОИЯИ, 6-10058, Дубна, 1976
24. а) Ц. Вылов и др., В книге "Прикладная ядерная спектроскопия", Атомиздат, М., 1978, 8, с. 43  
 б) Ц. Вылов, Б. П. Осипенко, В. Г. Чумин, ЭЧАЯ, 1978, 9, с. 1350
25. К. Я. Громов и др., ОИЯИ, P13-10611, Дубна, 1977; в книге "Прикладная ядерная спектроскопия", Атомиздат, М., 1978, 8, с. 59
26. Ц. Вылов и др. В книге "Спектры излучений радиоактивных нуклидов, измеренные с помощью полупроводниковых детекторов", ZfK-399, Rossendorf bei Dresden, 1980
27. Ц. Вылов и др., под ред. К. Я. Громова, в книге "Спектры излучений радиоактивных нуклидов", изд. "ФАН", Ташкент, 1980
28. R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nucl. Data, 1968, A4, 1
29. В. В. Кузнецов и др., ОИЯИ, P13-12810, Дубна, 1979. В книге "Прикладная ядерная спектроскопия", Атомиздат, М., 1980, 10, с. 269
30. А. В. Будзяк и др. ОИЯИ, P6-80-668, Дубна, 1980
31. В. Гаджоков, ПТЭ, 1970, 5, с. 82
32. Я. Ваврышук и др., ОИЯИ, P6-11133, Дубна, 1977
33. K. E. Adelroth, H. Nyqvist, A. Rosen, Phys. Scripta, 1970, 2, 96
34. S. Ekstrom et al, Phys. Scripta, 1972, 6, 181
35. Б. А. Аликов и др., Тезисы докладов XXVIII Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, изд. "Наука", Л., 1978, с. 68

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 мая 1981 года.