

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-50

25/vii-77
P6 - 10578

2783/2-77

Б.А.Аликов, Я.Ваврышук, К.Я.Громов, Г.И.Лизурей,
М.М.Маликов, Т.М.Муминов, Ш.Оманов, Р.Р.Усманов

РАСПАД $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.
ИЗОМЕР $^{151\text{m}}\text{Tb}$

1977

Р6 - 10578

Б.А.Аликов,¹ Я.Ваврышук, К.Я.Громов, Г.И.Лизурей,
М.М.Маликов,² Т.М.Муминов,¹ Ш.Оманов,¹ Р.Р.Усманов¹

РАСПАД $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.
ИЗОМЕР $^{151\text{m}}\text{Tb}$

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

¹ Самаркандский государственный университет.

² Институт ядерной физики АН УзССР.

Распад $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$. Изомер ^{151m}Tb

При распаде $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$ измерялись спектры γ -лучей, электронов внутренней конверсии, $e\text{-}\gamma$ и $\gamma\text{-}\gamma$ совпадений и временные распределения низкоэнергетических совпадений. Экспериментальные результаты позволили построить схему распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$, обнаружить изомерное состояние ^{151m}Tb и установить времена жизни нижних возбужденных состояний.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

The Decay $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$. The Isomer ^{151m}Tb

The spectra of γ -rays, of inner conversion electrons and of $e\text{-}\gamma$ and $\gamma\text{-}\gamma$ coincidences as well as the time distributions of the low-energy coincidences were measured in the decay $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$. The experimental results allow one to construct the decay scheme $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$, to observe the isomer state ^{151m}Tb , and to determine the lifetime of lower excited states.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Введение

Радиоактивный распад ^{151}Dy / $T_{1/2} = 16,90 \pm 0,05 \text{ мин}^{4/}$ исследовался в ряде работ /1-7/. Большая часть этих работ /1-4/ посвящена изучению α -распада, и только в работах /5-7/ исследовался распад $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.

Энергия распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$, по оценкам /10/, составляет 3,01 МэВ. Спины основных состояний ^{151}Dy / $I = 7/2$ / и ^{151}Tb / $I = 1/2$ / измерены методом магнитного резонанса атомного пучка /8,9/.

В работах Арльта и др. /5/ и Зубера и др. /6/ к распаду ^{151}Dy было отнесено 57 γ -переходов в диапазоне энергий от 176 до 1779 кэВ и на основе результатов изучения $\gamma\text{-}\gamma$ -совпадений предложена схема возбужденных состояний ^{151}Tb . Однако в работе Тота и др. /7/ в гамма-спектре ^{151}Dy был обнаружен переход с энергией 22,95 кэВ, полная интенсивность которого / $I_t \geq 65\%$ / на распад, оценена по $I_\gamma = 2,3\%$ /7/ / значительно превышает интенсивности всех других известных переходов в ^{151}Tb . Естественно, что схема уровней ^{151}Tb /5,6/, не включающая в себя этот переход, не соответствует экспериментальным данным.

В литературе отсутствует информация о конверсионных электронах электромагнитных переходов в ^{151}Tb .

В настоящей работе были проведены исследования спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии, $e\text{-}\gamma$ -и $\gamma\text{-}\gamma$ -совпадений и временных распределений совпадений между низкоэнергетическими излучениями при распаде ^{151}Dy в ^{151}Tb . Результаты этих исследований позволили предложить схему распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$, выявить изомерное состояние с $I^\pi = 11/2^-$ и определить времена жизни нижних возбужденных состояний в ядре ^{151}Tb .

Радиоактивные источники

Исследования проводились с радиоактивными источниками ^{151}Dy , полученными в реакции глубокого расщепления Та протонами с энергией 660 МэВ на синхротронном ОИЯИ. Для быстрого получения источников облученные на внешней пучке протонов танталовые мишени, без химической обработки, разделялись по изобарам на электромагнитном масс-сепараторе. Часть исследований была выполнена с источниками, полученными путем облучения мишеней на внутренней пучке протонов ускорителя. Из этих мишеней радиохимическими методами выделялись изотопы Dy, которые затем разделялись по массам при помощи электромагнитного масс-сепаратора. На масс-сепараторе ионы Dy внедрялись в фольгу из Al толщиной 10 мкм или в тонкие сцинтиллирующие пленки типа NE104 толщиной 100 мкм.

Всего в исследованиях использовалось более 150 радиоактивных источников.

Условия и результаты эксперимента

Спектры γ -лучей измерялись с помощью двух Ge(Li)-детекторов с чувствительными объемами 0,8 и 38 см³ и энергетическим разрешением 0,5 кэВ на $E_\gamma = 122$ кэВ и 2,5 кэВ на $E_\gamma = 1332$ кэВ соответственно.

Электроны внутренней конверсии исследовались с помощью магнитно-линзового β -спектрометра /11/, β -спектрометра с тороидальным магнитным полем /12/, а также спектрометра с Si(Li)-детектором, помещенным в однородное магнитное поле /13/.

В результате этих исследований к распаду ^{151}Dy было отнесено ~170 переходов в диапазоне энергий от 22 до 2100 кэВ. В низкоэнергетической области, помимо известного перехода с $E_\gamma = 22,9$ кэВ, были обнаружены интенсивные переходы с энергиями 27,1 и 49,5 кэВ.

На рис. 1а, б и 2 приведены γ -спектр и низкоэнергетическая область исследованного спектра конверсионных электронов. Значения энергий и интенсивностей представлены в табл. 1. Сведения об интенсивностях

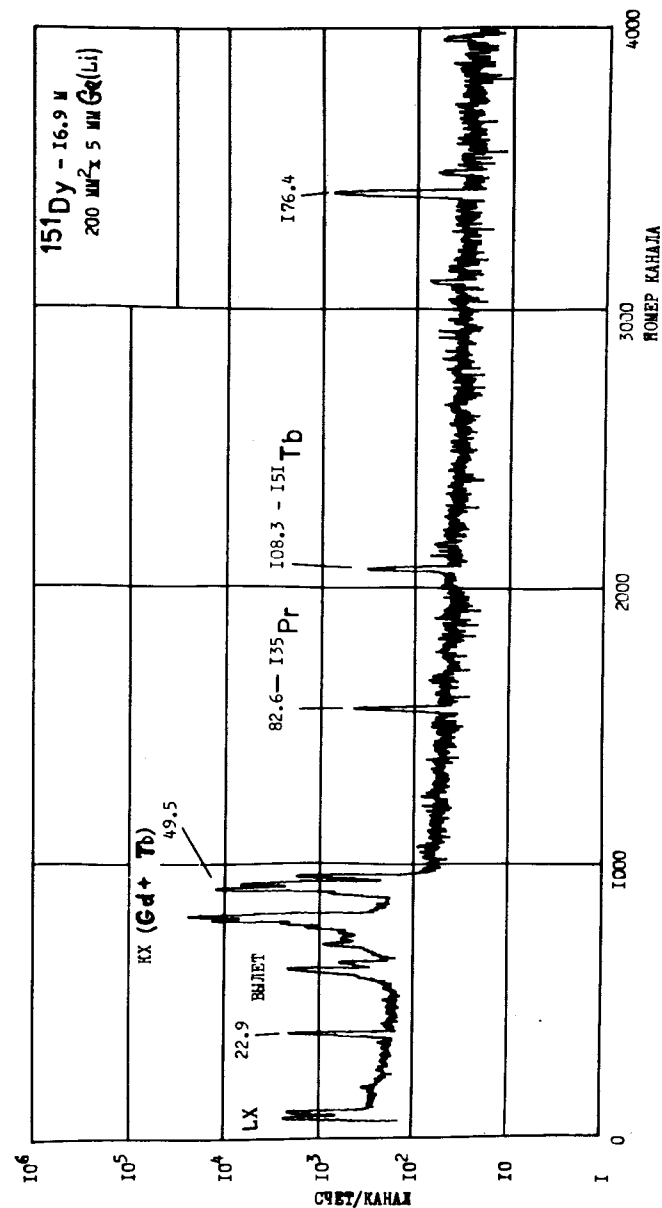


Рис. 1а. Низкоэнергетическая часть спектра γ -лучей, возникающих при распаде ^{151}Dy → ^{151}Tb .

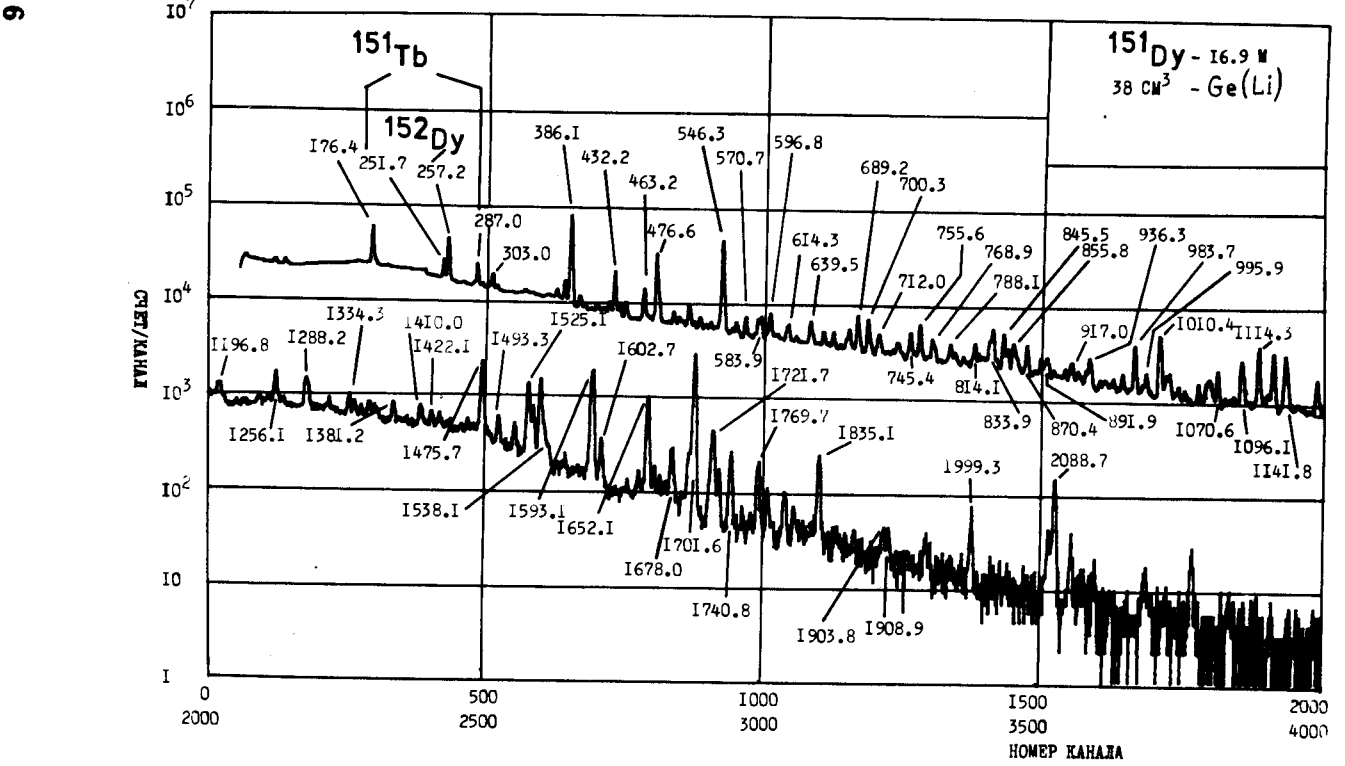


Рис. 16. Спектр γ -лучей, возникающих при распаде $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.

Электронное внутреннее конверсии для некоторых переходов и выводы об их мультипольностях приведены в табл. 2.

Таблица 1

Энергии и интенсивности γ -лучей, возникающих при распаде $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$

$E_{\gamma}(\text{keV})$	$I_{\gamma}(\% \Delta I_{\gamma})$	$E_{\gamma}(\text{keV})$	$I_{\gamma}(\% \Delta I_{\gamma})$	$E_{\gamma}(\text{keV})$	$I_{\gamma}(\% \Delta I_{\gamma})$
22,92(2)	3,45 (4)	500,16(26)	0,44(8)	736,26(60)	0,39(11)
49,46(2)	20,74(31)	504,50(20)*	0,23(7)	745,40(6)	1,40(7)
72,50(10)	0,11(2)	515,90(31)	0,13(8)	749,70(40)	0,18(3)
160,40(2)	0,45(4)	522,40(10)*	0,68(6)	755,57(4)	2,34(10)
163,04(4)	0,21(5)	528,40(16)	0,28(6)	764,27(20)	0,20(4)
176,40(1)	12,20(16)	533,66(18)	0,33(5)	768,90(20)	0,93(5)
204,03(2)	0,81(9)	546,31(2)	16,47(37)	771,51(10)	0,55(4)
226,27(30)	0,28(6)	556,40(23)	0,35(6)	784,52(63)	0,12(4)
230,90(13)	0,60(7)	561,00(10)	0,94(7)	788,07(8)	0,99(6)
272,43(24)	0,37(9)	570,70(3)	1,29(4)	793,08(10)	0,59(5)
283,86(13)	0,35(4)	574,68(20)	0,16(2)	802,00(20)	0,38(5)
292,16(10)	0,39(4)	580,40(30)	0,24(6)	806,22(28)	0,20(5)
300,00(16)	0,27(4)	583,88(8)	1,20(6)	814,10(10)	1,17(10)
303,00(5)	1,56(5)	593,50(50)	0,38(5)	818,60(30)	0,37(7)
307,48(8)	0,43(4)	596,77(4)	1,81(7)	822,78(27)	0,39(7)
323,11(43)	0,15(5)	614,30(10)	0,60(4)	830,50(10)*	1,48(10)
326,10(42)*	0,16(5)	624,54(12)	0,22(4)	833,88(6)	2,54(13)
333,17(26)	0,22(5)	630,37(13)	0,05(1)	837,91(52)	0,23(8)
337,80(10)	0,57(5)	639,50(10)	1,57(11)	845,46(4)	2,31(11)
345,13(16)	0,27(5)	642,20(60)	0,22(7)	849,60(10)	1,04(7)
371,07(5)	0,89(5)	653,20(20)	0,71(6)	855,84(7)	1,50(8)
379,70(6)*	2,83(15)	655,60(50)	0,17(4)	859,21(16)	0,66(6)
386,10(2)	22,33(37)	663,67(5)	0,98(5)	870,36(6)	1,62(10)
400,67(16)	0,34(5)	671,20(30)	0,16(4)	878,20(36)	0,16(5)
413,27(13)	0,46(5)	677,56(13)	0,51(4)	884,62(10)	0,76(6)
420,32(13)	0,26(4)	680,41(6)	1,11(5)	891,92(20)	0,81(7)
432,16(2)	4,64(12)	689,17(3)	2,91(7)	910,28(50)	0,48(4)
436,86(7)	0,88(5)	700,32(4)	2,07(8)	917,00(10)	1,00(11)
463,20(3)	2,76(6)	712,00(20)	1,38(8)	926,00(50)	0,53(7)
476,56(2)	9,21(16)	721,31(31)	0,14(7)	932,48(38)	0,32(6)
489,51(61)	0,16(7)	726,71(23)	0,17(10)	936,27(10)	1,23(8)
494,31(10)	1,00(13)	732,80(50)	0,77(4)	947,10(34)	0,32(7)

Продолжение табл. 1

$E_{\gamma}(\pm \Delta E_{\gamma})$ кэВ	$I_{\gamma}(\pm \Delta I_{\gamma})$ в % на расп.	$E_{\gamma}(\pm \Delta E_{\gamma})$ кэВ	$I_{\gamma}(\pm \Delta I_{\gamma})$ в % на расп.	$E_{\gamma}(\pm \Delta E_{\gamma})$ кэВ	$I_{\gamma}(\pm \Delta I_{\gamma})$ в % на расп.
952,33(22)	0,45(7)	1196,77(16)	1,09(7)	1530,19(8)	0,95(4)
960,86(20)	0,39(7)	1200,86(41)	0,32(5)	1538,08(5)	2,28(7)
970,77(10)	0,44(5)	1239,21(31)	0,21(4)	1542,16(17)	0,45(4)
983,73(3)	2,37(7)	1248,90(22)	0,22(4)	1546,47(20)	0,21(3)
992,37(22)	0,25(4)	1256,06(10)	1,25(7)	1593,10(4)	3,00(10)
995,92(7)	0,77(5)	1259,20(43)	0,20(4)	1602,68(17)	0,40(4)
1000,36(31)	0,17(5)	1264,27(26)	0,21(4)	1611,00(33)	0,18(6)
1010,37(3)	3,52(11)	1288,22(13)	0,92(5)	1652,08(4)	1,65(5)
1016,60(10)	0,89(5)	1290,80(10)	0,57(4)	1659,53(16)	0,25(4)
1020,38(7)	0,98(5)	1313,07(12)	0,15(3)	1678,00(20)	0,32(4)
1029,38(17)	0,43(5)	1334,31(12)	0,51(4)	1696,33(20)	0,43(3)
1036,48(24)	0,34(4)	1340,00(20)	0,34(4)	1701,56(3)	5,26(14)
1040,16(41)	0,14(4)	1347,56(23)	0,21(4)	1718,43(50)	0,14(7)
1050,43(18)	0,68(8)	1355,53(12)	0,38(4)	1721,66(8)	0,77(4)
1058,50(20)	0,92(8)	1361,87(22)	0,28(4)	1728,07(31)	0,26(1)
1062,50(16)	1,16(11)	1381,19(16)	0,43(5)	1740,80(11)	0,45(2)
1070,60(10)	1,42(13)	1410,00(10)	0,43(4)	1753,12(19)	0,05(1)
1096,07(4)	2,03(7)	1422,06(13)	0,31(4)	1769,69(7)	0,36(2)
1114,26(3)	3,07(11)	1430,80(26)	0,25(3)	1779,91(23)	0,13(1)
1124,00(17)	0,42(5)	1438,53(48)	0,10(3)	1798,60(30)	0,15(2)
1129,78(3)	2,63(10)	1442,00(37)	0,12(3)	1808,70(50)	0,10(2)
1141,80(10)	2,32(16)	1460,37(21)	0,16(4)	1835,10(10)	0,53(6)
1144,07(16)	0,47(12)	1475,73(4)	2,46(10)	1903,80(50)	0,17(5)
1175,52(6)	1,15(8)	1479,47(48)	0,16(4)	1908,90(20)	0,09(2)
1178,26(40)	0,25(5)	1493,31(21)	0,32(5)	1999,30(30)	0,09(2)
1185,60(23)	0,53(7)	1510,61(16)	0,44(6)	2088,70(10)	0,28(4)
1190,58(26)	0,48(6)	1525,06(5)	1,72(6)		

* Гамма-лучи, возникающие при β -распаде изомерного состояния ^{151m}Tb .

Спектры $e\text{-}\gamma$ -совпадений измерялись на установках, собранных по принципу быстро-медленных совпадений на базе магнитно-линзового β -спектрометра и $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора/14/ и на базе сцинтилляционного детектора /с использованием в качестве сцинтиллятора сцинтилляционных пленок с внедренными источниками и фотоумножителей XP1021 / и $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительным объемом 40 см³ и энергетическим разрешением 3 кэВ на $E_{\gamma} = 1332$ кэВ. Эти установки использовались для исследования совпадений γ -лучей с переходами 23,27, 49

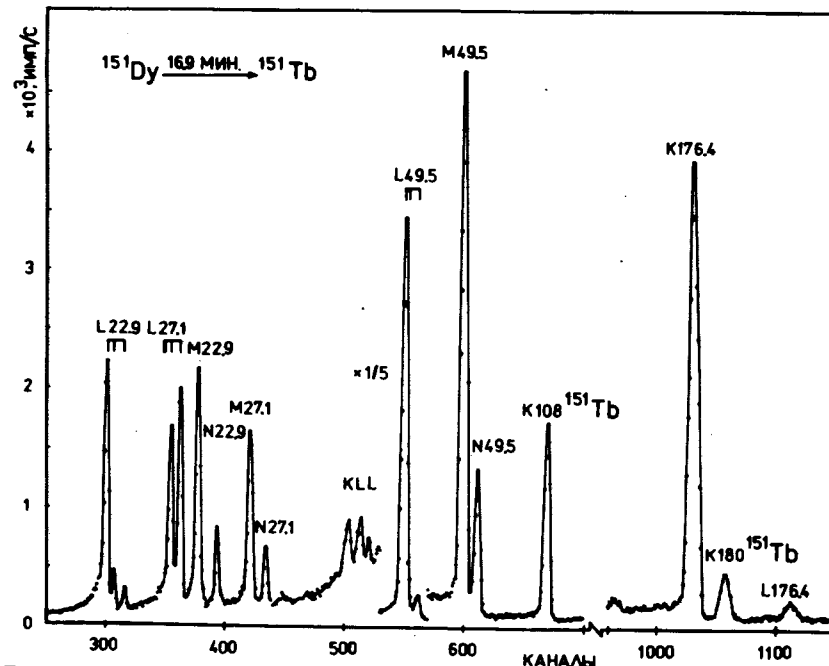


Рис. 2. Низкоэнергетический участок спектра ЭВК при распаде $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.

и 176 кэВ. Измерения на первой установке обуславливались высоким отношением в спектре совпадений числа истинных совпадений к случайным, а на второй - большой эффективностью регистрации совпадений. На рис. 3 приведены спектры $e\text{-}\gamma$ -совпадений, полученные в одной из серий измерений.

Исследования совпадений между переходами в высокоэнергетической части γ -спектра проводились в режиме двумерного анализа на установке с двумя $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами, работающей на линии с ЭВМ HP2116C /15/.

Измерения совпадений выполнялись при разрешающих временах установок 30-60 нс. Результаты анализа спектров $e\text{-}\gamma$ - и $\gamma\text{-}\gamma$ -совпадений приведены в табл. 3.

Временные измерения проводились в режиме $e\text{-}\gamma$ - и $e\text{-}e$ -совпадений на двух временных спектрометрах, собранных на базе магнитно-линзового β -спектрометра и

Таблица 2

Интенсивности ЭВК и мультипольности переходов в ^{151}Tb

E_{γ} кэВ	Э В К	$I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ % на распад	σL	E_{γ} кэВ	ЭВК	$I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ % на распад	К В К $\times 10^3$	σL
22,9	L_I	63,28(476)	$M1 +$ (0,09±0,01)% E2	176,4	К	4,192 (240)	344(20)	$M1 + (20 \pm 10) E2$
	L_{II}	7,76(88)						
	L_{III}	3,04(40)						
	M	15,54(106)						
	N	3,92(33)						
27,1	L_I	~ 0,18	E3	226,3	К	0,061 (12)	220(100)	$M1, E2$
	L_{II}	13,91(121)						
	L_{III}	17,74(165)						
	M	8,42(62)						
	N	1,83(15)						
49,5	$L_I + L_{II}$	44,29(307)	$M1 + (0,3) E2$	463,2	К	0,071 (5)	26 (3)	$M1 + E2$
	L_{III}	1,87(66)						
	M	9,94(70)						
	N	2,42(15)						
				476,6	К	0,242 (15)	26 (3)	$M1$
				546,3	К	0,314 (16)	19 (2)	$M1$

сцинтилляционного детектора ^{11/} и на базе двух сцинтилляционных детекторов с использованием в одном из них сцинтиллирующей пленки с внедренным источником и фотоумножителем XP1021, а в другом - сцинтиллятора NE104 ϕ 25 x 5 мм.

Измеренные временные распределения совпадений излучений ^{151}Dy с электронами конверсии переходов 23, 27, 49 и 176 кэВ приведены на рис. 4 и 5. Там же, на вставках, представлены спектры регистрируемых электронов.

Схема распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.
Изомер ^{151m}Tb

Прежде чем перейти к обсуждению схемы распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$, необходимо отметить, что по аналогии с соседними ядрами $^{149}\text{Th}/^{16}/$ и $^{153}\text{Tb}/^{17}/$ в ядре ^{151}Tb следует ожидать существования изомерного состояния с $I^{\pi} = 11/2^-$. Поиски этого состояния, предпринятые в работе ^{6/}, в диапазоне времен $10^{-8} \div 10^{-5}$ с окончились безрезультатно. Из самых общих соображений следует ожидать для периода полураспада и энергии изомерного уровня ^{151m}Tb значений, лежащих между значениями соответствующих величин для $^{149m}\text{Tb} / E_{\text{ур.}} \approx 40$ кэВ, $T_{1/2} = 4,3$ мин ^{18/} и $^{153m}\text{Tm} / E_{\text{ур.}} = 163$ кэВ, $T_{1/2} = 173$ мкс ^{17/}.

Вполне вероятно, что обнаруженный в спектре излучений ^{151}Dy E3-переход с энергией 27 кэВ связан с распадом изомерного состояния ^{151m}Tb с $I^{\pi} = 11/2^-$ на возбужденное состояние с $I^{\pi} = 5/2^+$. В этом случае, исходя из односторонней оценки парциального периода полураспада этого перехода $T_{1/2\text{Sp}} / E3, 27 \text{ кэВ} / = 6 \cdot 10^5 \text{ с}$ и возможных значений факторов торможения $F_{\text{Sp}}(E3) \approx 10^{-1} - 10$, характерных для таких переходов в этой области ядер, для ^{151m}Tb следует ожидать значений $T_{1/2} \approx 1 \div 10^2 \text{ с}$.

Таблица 3

$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	22.9	49.5	176.4	386.1	476.6	546.3	$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	22.9	49.5	176.4	386.1	476.6	546.3
49.5	•		•		•		755.6			Н	•		
160.4				•			768.9	•	•				
163.0					•		788.1				•		•
176.4	•	•					814.1	•	•				
204.0	•	•					833.9	•		Н			
226.3	•						845.5	•	•				
230.9	•	•					855.8				•		
283.9						•	870.4			•	•		
292.2	•	•			•		917.0	•	•				
300.0			•				936.3	•	•				•
303.0						•	983.7						•
337.8	•	•	•		•		995.9				•		
371.1				•			1010.4	•	•				Н
386.1				•			1016.6				•		
413.3	•	•					1062.5	•	•			•	
432.2				•			1070.6	•	•	•			
436.9						•	1096.1						•
463.2	•	•	•				1114.3	•	•			•	
476.6	•	•					1129.8	•	•	•			
546.3							1144.1				•		
561.0	•						1175.5	•	•			•	
570.7	•	•			•		1185.6	•	•	•			
596.8				•		Н	1256.1				•		
614.3	•	•					1288.1				•		
639.5	•	•					1475.7	•	•	•			
653.2	•	•					1493.3	•	•	•			
663.7	•						1525.1	•	•	•			
689.2	•						1538.1	•	•				
700.3			•				1593.1	•	•	•			
712.0			•	•			1652.1	•	•				
745.4				•			1701.6	•					

• - совпадения, О - слабые совпадения, Н - слабые необъясненные совпадения.

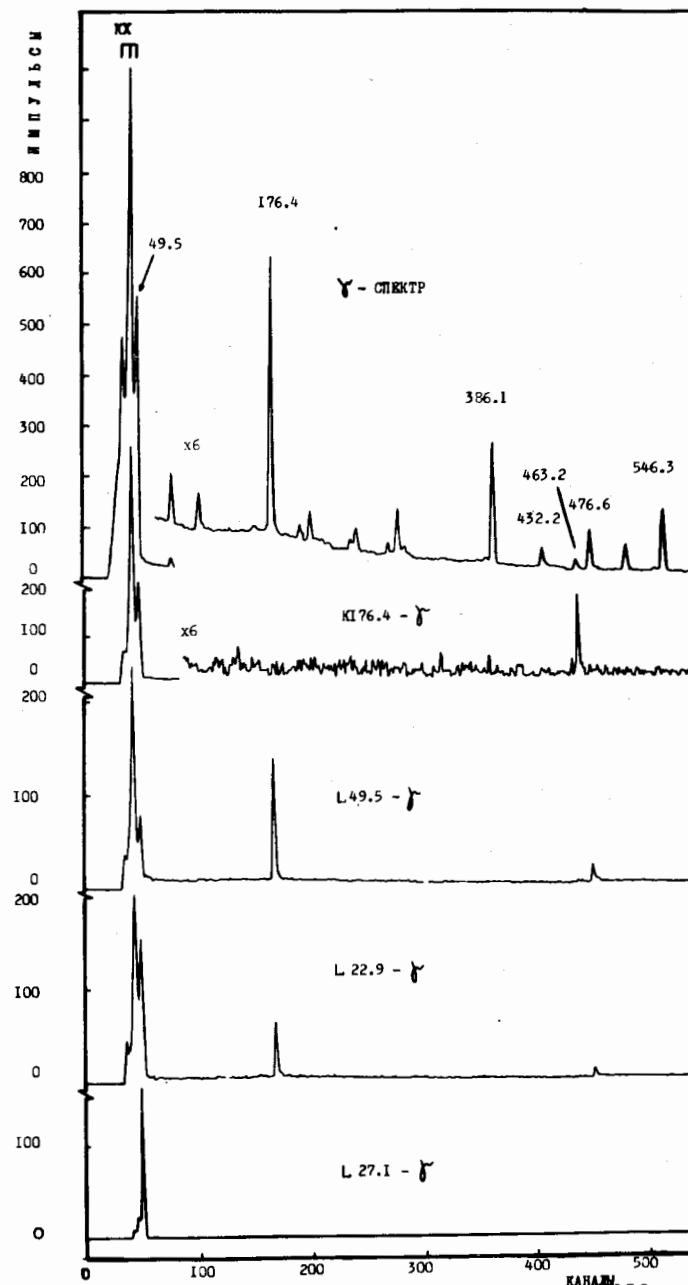


Рис. 3. Спектр γ -совпадений при распаде $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$.

С другой стороны, в исследованном γ -спектре обнаружены переходы $E_\gamma = 326, 379, 504, 522$ и 830 кэВ, интенсивности которых спадают с $T_{1/2} \approx 17$ мин и которые можно идентифицировать с переходами, разряжающими ротационные состояния 1210 кэВ / $11/2^-$, 901 кэВ / $13/2^-$, 784 кэВ / $11/2^-$ и 379 кэВ / $9/2^-$, построенные на уровнях подболочки $h_{11/2}$, которые обнаружены при изучении структуры уровней ^{151}Gd в реакциях $(\alpha, 3n\gamma)^{19}$. При β -распаде $^{151}\text{Gd} / I^\pi = 1/2^+ /$ возбуждение указанных состояний не наблюдается 20 . Поэтому следует заключить, что существует β -распад ^{151m}Tb .

Результаты исследований спектров $e-\gamma$ -совпадений и их временных распределений позволяют установить следующие последовательности для низкоэнергетических переходов: $176 \rightarrow 50 \rightarrow 22, 27 \rightarrow 50 \rightarrow 22$. Из этого вытекает следующая последовательность нижних состояний ^{151}Tb : $0; 22,9; 72,4; 99,5$ и $248, 8$ кэВ. Учитывая мультипольности этих переходов и значения спинов для $^{151g}\text{Tb}(1/2^+)$ и $^{151m}\text{Tb}(11/2^-)$, состояниям $0; 22,9; 72,4$ и $99,5$ кэВ можно приписать соответственно следующие характеристики: $I^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$ и $11/2^-$.

Таким образом, можно считать, что изомерное состояние ^{151m}Tb имеет энергию $99,5$ кэВ. В спектре γ -лучей препарата Tb, полученного быстрым радиохимическим выделением из источника ^{151}Dy , нами не были обнаружены переходы, связанные с распадом ^{151m}Tb . С учетом условий этого опыта можно заключить, что период полураспада ^{151m}Tb $T_{1/2} < 1$ мин.

Схема высоколежащих уровней $E > 250$ кэВ была построена по результатам совпадений с учетом баланса энергий и интенсивностей переходов.

Из 172 γ -переходов, отнесенных к β -распаду ^{151}Dy , в схему включен 101 переход с интенсивностью, составляющей 90% от полной интенсивности всех переходов. Значения нижних границ $\lg(ft)$ уровней определены по балансу интенсивностей γ -переходов. С учетом этих значений $\lg(ft)$ можно заключить, что большинство высоколежащих состояний ^{151}Tb имеют значения спинов: $I = 5/2, 7/2, 9/2$.

Построенные схемы распада $^{151}\text{Dy} \rightarrow ^{151}\text{Tb}$ и $^{151m}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$ приведены на рис. 6а,б.

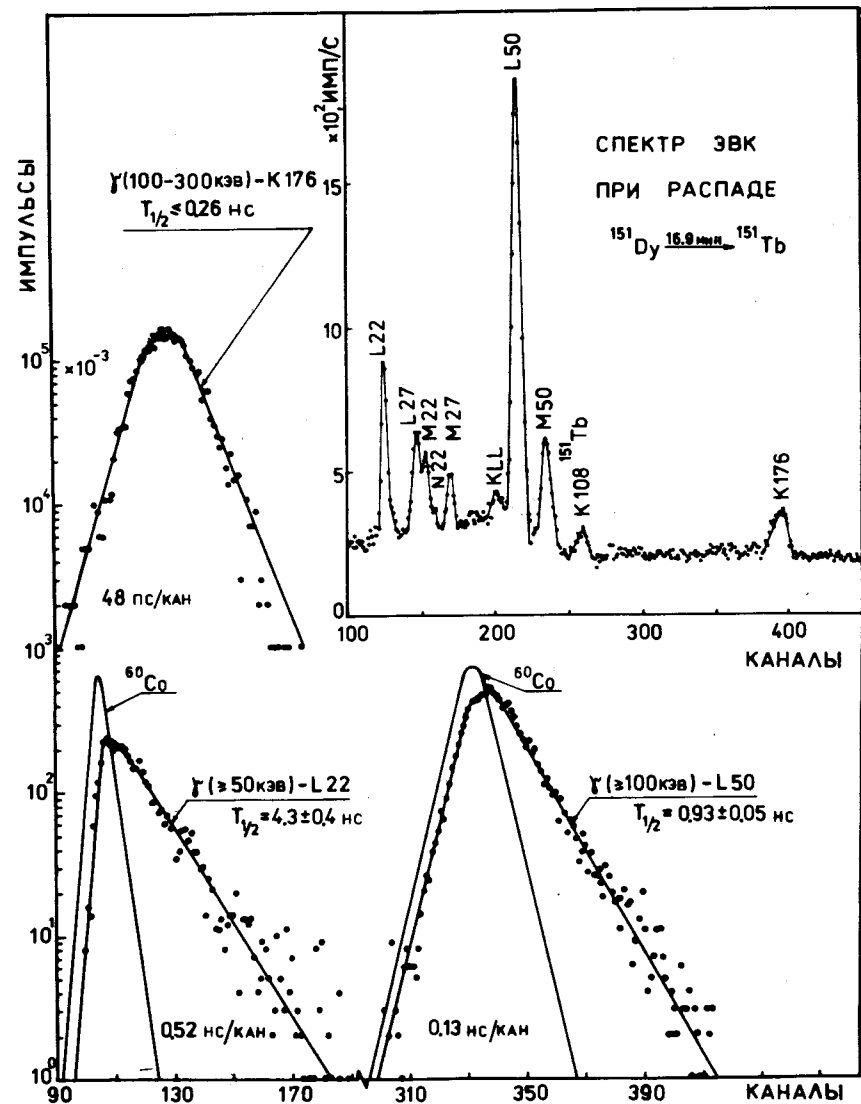


Рис. 4. Временные распределения излучений нижних состояний ^{151}Tb .

Нижние состояния ^{151}Tb

Основное состояние $^{151}\text{Tb}_{86}$ невозможно рассматривать как одночастичное состояние в сферически-симметричном потенциале, т.к. в оболочке с $Z = 50 \div 82$ значение $I^\pi = 1/2^+$ соответствует состоянию $3s_{1/2}$, которое должно возбуждаться при значительно больших энергиях /по отношению к энергии поверхности Ферми/.

Спин и четность ^{151g}Tb ($I^\pi = 1/2^+$) можно объяснить, предположив, что в основном состоянии ^{151}Tb имеет отрицательную деформацию $\beta \approx -0,10$. В этом случае ему необходимо приписать характеристики $1/2^+/420/$. Нижним уровням $22,9 \text{ кэВ} / I^\pi = 3/2^+ /$ и $72,4 \text{ кэВ} / I^\pi = 5/2^+ /$ можно приписать соответственно характеристики $3/2^+/411/$ и $5/2^+/402/$. В табл. 4 приведены экспериментальные значения приведенных вероятностей переходов, связывающих рассматриваемые состояния, и их одночастичных факторов торможения по Мошковскому и Нильссону. Несмотря на то, что согласие оценок по Нильссону с экспериментальными значениями вероятностей несколько лучше, чем с оценками по Мошковскому, тем не менее и их расхождения существенны. Возможно, при учете влияния взаимодействия Корнелиса согласие теории с экспериментом улучшится. Не исключено, что состояния $1/2^+/420/$, $3/2^+/411/$ и $5/2^+/402/$ могут иметь различную деформацию.

С другой стороны, уровни $22,9$ и $72,4 \text{ кэВ}$ можно рассматривать как члены ротационной полосы основного состояния $1/2^+/411/ / A = 8,8 \text{ кэВ}$, $a = -0,13/$. В этом случае по вероятности E2-компоненты перехода $3/2^+ \rightarrow 1/2^+$ можно определить значения квадрупольного момента и параметра деформации: $Q_0 = 2,0 \pm 0,2 \text{ б}$ и $\beta = 0,09 \pm 0,01$.

Этим значениям не противоречат оценки $Q_0 < 5,7 \text{ б}$ и $\beta < 0,25$, вытекающие из вероятности E2-компоненты перехода $5/2^+ \rightarrow 3/2^+$. Однако слабая интенсивность возможного перехода $5/2^+ \rightarrow 1/2^+$ 72 кэВ ставит под сомнение отнесение уровня 72 кэВ к ротационной полосе.

Учитывая, что изомерное состояние ^{151}Tb связано с высокоспиновыми ротационными состояниями / $\beta \approx$

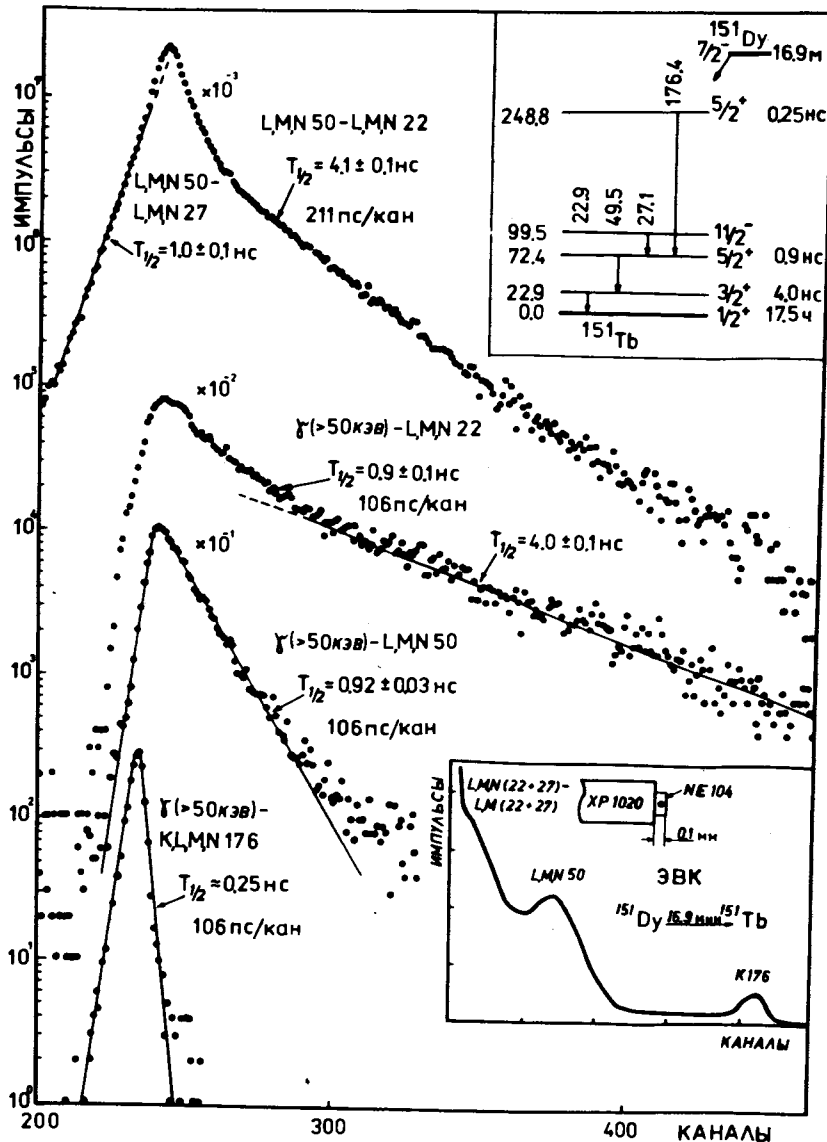


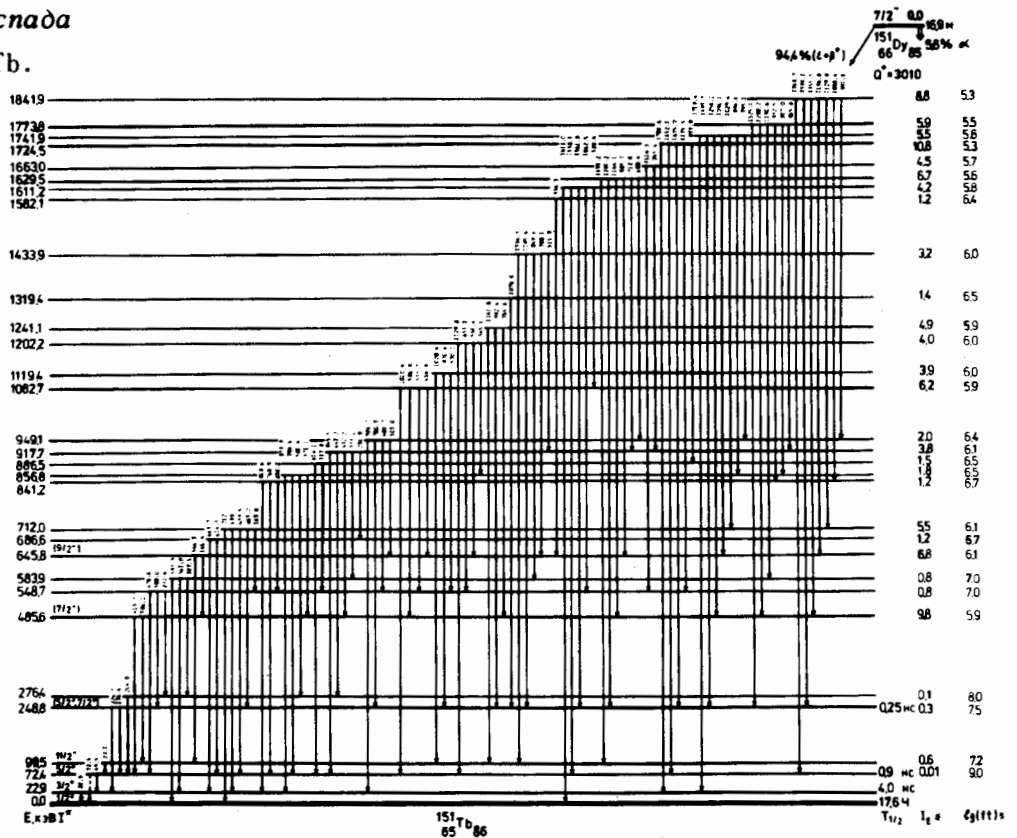
Рис. 5. Временные распределения излучений нижних состояний ^{151}Tb .

Таблица 4
Вероятности электромагнитных переходов в $^{151}\text{Tb}_{86}$

$E_{ур}, \text{кэВ}$ $T_{1/2}, \text{нс}$	$E_{у}, \text{кэВ}$ начальное состояние $IK^{\pi}[N\pi_{g}\Lambda] \rightarrow$ конечное состояние $IK^{\pi}[N\pi_{g}\Lambda]$	σL	$B(\sigma L)^*$	$F^{\pi}(\sigma L)$	$F^{\pi}(\sigma L)$
22,9 $4,05 \pm 0,07$	22,9 $3/2 \ 3/2^+ / 4II / \rightarrow 1/2 \ 1/2^+ / 420 /$	$M1 +$ $0,09\% E2$	$2,75 \cdot 10^{-2}$ $6,70 \cdot 10^{-2}$	60,3 $7,19 \cdot 10^{-2}$	14,4 $2,27 \cdot 10^{-2}$
72,4 $0,92 \pm 0,03$	49,5 $5/2 \ 5/2^+ / 402 / \rightarrow 3/2 \ 3/2^+ / 4II /$ (72,4) $5/2 \ 5/2^+ / 402 / \rightarrow 1/2 \ 1/2^+ / 420 /$	$M1 +$ $< 0,3\% E2$ (E2)	$9,01 \cdot 10^{-2}$ 0,157 $4,12 \cdot 10^{-2}$	18,4 $> 3,07 \cdot 10^{-2}$ $1,17 \cdot 10^{-1}$	5,68 $> 7,64 \cdot 10^{-5}$ $2,55 \cdot 10^{-2}$
99,5 $\leq 10^{II}$	27,1 $II/2 \ II/2 / 505 / \rightarrow 5/2 \ 5/2^+ / 402 /$	E3	$1,23 \cdot 10^{-6}$	$< 1,12 \cdot 10^3$	< 128
248,8 $\leq 0,26$	176,4 $5/2^+ \rightarrow 5/2^+$ ($7/2^+ \rightarrow 5/2^+$)	$M1 +$ $20\% E2$	$1,58 \cdot 10^{-2}$ 0,18	105 $2,67 \cdot 10^{-2}$	-
	226,3 $5/2^+ \rightarrow 3/2^+$ ($7/2^+ \rightarrow 3/2^+$)	(M1) (E2)	$2,15 \cdot 10^{-4}$ $5,99 \cdot 10^{-3}$	7690 0,81	-

* $B(\sigma L)$ в единицах $M1 - / \text{я.м.} / ^2$; $E2 - e^2 \text{барн}^2$; $E3 - e^2 \text{барн}^3$.

Рис. 6а. Схема распада
 $^{151}\text{Dy} \xrightarrow{16,9 \text{ мин}} ^{151}\text{Tb}$.



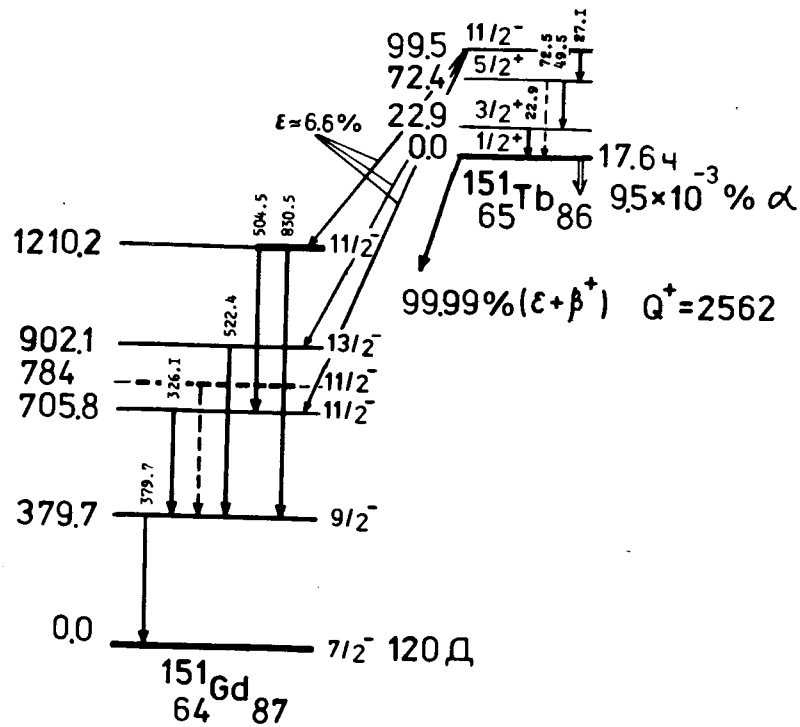


Рис. 66. Схема распада $^{151m}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$.

$\approx +0,29 / 19 / / ^{151}\text{Gd}$, разрешенными β -переходами, можно предположить, что уровни с отрицательной четностью 645,8 кэВ / $9/2^-$ / и 485,6 кэВ / $7/2^-$ /, связанные между собой и с изомерным состоянием ^{151m}Tb сильными γ -переходами, являются членами "сильно развязанной" ротационной полосы ^{151m}Tb .

Сделать более определенные выводы о физической природе возбужденных состояний ^{151}Tb на основе имеющихся экспериментальных данных затруднительно.

В настоящее время ведутся расчеты равновесных деформаций одночастичных состояний в потенциале Саксона-Вудса и расчеты вероятностей электромагнитных

переходов в нечетных ядрах Tb с $A = 149 \div 157$. Предварительный анализ результатов этих вычислений подтверждает предположение об отрицательной деформации основного состояния $^{151}\text{Tb} / \epsilon = 0,09 /$ и предположение о существовании в этом ядре различных видов деформаций. Результаты этих расчетов будут опубликованы в отдельной работе после проведения их детального анализа.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность К.Зуберу и В.Г.Калинникову за полезные обсуждения, В.М.Горожанкину, В.В.Кузнецову, Н.З.Марупову, У.С.Салихбаеву и В.И.Стегайлову за помощь в работе, И.И.Громовой, Н.А.Лебедеву, Ю.В.Юшкевичу, Э.Херрманну и М.Яхиму за приготовление радиоактивных источников.

Литература

1. Rasmussen J.O., Thompson S.G., Ghiorso A. *Phys. Rev.*, 1953, 89, p. 33.
2. Toth K.S., Rasmussen J.O. *Phys. Rev.*, 1958, 109, p. 121.
3. Macfarlane R.D., Seegmiller D.W. *Nucl. Phys.*, 1964, 53, p. 449.
4. Bingham C.R. e.a. *Phys. Rev.*, 1973, C7, p. 2575.
5. Арльт Р., Зубер К., Нойберт В. ОИЯИ, Д6-5783, 122, Дубна, 1971.
6. Зубер К. и др. В кн.: Программа и тезисы докладов XXIV Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, 109, Л., 1974.
7. Toth K.S., Bingham C.R., Schmidt-Ott W. -D. *Phys. Rev.*, 1974, C10, p. 2550.
8. Rosen A. e.a. *Nucl. Phys.* 1970, A154, p. 283.
9. Adelroth K.E., Nyquist H., Rosen A. *Phys. Scripta*, 1970, 2, p. 96.
10. Wapstra A.H., Gove N.B. *Nucl. Data*, 1971, A9, p. 276.
11. Морозов В.А., Муминов Т.М. ОИЯИ, P13-3437, Дубна, 1967.
12. Гасиор М. и др. ОИЯИ, Д6-7094, 167, Дубна, 1973.

13. Береги Е. и др. ОИЯИ, Р13-6830, Дубна, 1972.
14. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, 6-10028, Дубна, 1976.
15. Андерт К. и др. ОИЯИ, Р6-8564, Дубна, 1975.
16. Macfarlane R.D. *Phys. Rev.*, 1962, 126, p.274.
17. Gritsyna V.T., Forster H.H. *Nucl. Phys.*, 1965, 61, p.129.
18. Chu Y.Y., Franz E.M., Friedlander G. *Phys. Rev.*, 1969, 187, p.1529.
19. Kleinheinz P. e.a. *Phys. Rev.Lett.*, 1974, 32, p.68.
20. Hammaren E. e.a. *Z.Physik.*, 1975, A272, p.341.

*Рукопись поступила в издательский отдел
11 апреля 1977 года.*