

6512

Эт. ч. 1. 1. 1.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P6 - 6512



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66 \text{ МИН}$)

и ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16 \text{ ЧАС}$)

1972

Р6 - 6512

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ МИН)

И ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ ЧАС)

Направлено в Известия АН СССР

Исследование распада ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ мин) и
 ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ час)

Исследованы спектры гамма-лучей, конверсионных электронов и гамма-гамма-совпадений при распаде ^{148}Tb и ^{150}Tb . Измерен период полураспада ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ час). Предложены схемы распада $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$ и $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Gd}$. Проведено сравнение возбужденных состояний соседних ядер ^{148}Gd , ^{146}Sm , ^{144}Nd и ^{150}Gd , ^{148}Sm , ^{146}Nd .

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1972

Vylov Ts., Gromov K.Ya., Gromova I.I., Р6 - 6512
Iskhakov G.I., Kuznetsov V.V., Kuznetsova M.Ya.,
Potempa A.V., Fominykh M.I.

Study of the Decay ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ min)
and ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ h)

Gamma-ray, conversion electron and γ - γ -coincidence spectra at the decay of ^{148}Tb and ^{150}Tb are studied. The half-life is measured for ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ h). The decay schemes $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$ and $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Gd}$ are proposed. The comparison is made for the excited states of neighbouring nuclei ^{148}Gd , ^{146}Sm , ^{144}Nd and ^{150}Gd , ^{148}Sm , ^{146}Nd .

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1972

1. Введение

Возбужденные состояния ^{150}Gd исследовались ранее авторами работ /1-8/. В работах /1-3/ при исследовании позитронного распада ^{150}Tb было установлено, что первый возбужденный уровень ^{150}Gd с энергией 638 кэВ имеет спин и четность 2^+ .

Гамма-лучи с энергией 510 кэВ наблюдались в работе /2/ при изучении распада ^{150}Tb и в работе /4/ в реакции $^{150}\text{Sm} (\alpha, 4n) ^{150}\text{Gd}$. В работе /5/ исследовались спектры гамма-лучей, конверсионных электронов и позитронов при распаде ^{150}Tb и предложены уровни ^{150}Gd с энергией 639 кэВ (2^+), 1138 кэВ (3^-), 1209 кэВ (4^+), 1516 кэВ, 1640 кэВ, 1790 кэВ и 2085 кэВ. Недавно в работе /6/ в ядерных реакциях $^{139}\text{La} . (^{16}\text{O}, 5n) ^{150}\text{Tb}$ и $^{141}\text{Pr} (^{12}\text{C}, 3n) ^{150}\text{Tb}$ был получен и идентифицирован изомер ^{150}Tb с периодом полураспада $T_{1/2} = (6,0 \pm 0,2)$ мин. Авторы работы /6/ ввели уровни ^{150}Gd с энергиями 638 кэВ (2^+), 1288 кэВ (4^+), 1134 кэВ (3^-) и 1700 кэВ (5^-). Авторы работы /7/, изучая изомерные состояния изотопов тербия /6/, предложили схему уровней ^{150}Gd , заселяемых при распаде изомера ^{150}Tb (9^+). Были введены уровни с энергиями 638 кэВ (2^+), 1288 кэВ (4^+), 2116 кэВ (6^+), 2554 кэВ (8^+) и 1134 кэВ (3^-), 1700 кэВ (5^-), 2211 кэВ (7^-). Одновременно с работой /7/ появилась работа /8/, в которой при распаде ^{150}Tb , полученного в реакции $^{151}\text{Eu} (^3\text{He}, 4n) ^{150}\text{Tb}$, наблюда-

лись уровни ^{150}Gd с энергиями 638,05 кэв (2^+); 1134,35 кэв (3^-), 1288,4 кэв (4^+), 1700,9 кэв (5^-), 1936,8 кэв (6^+), 2116,1 кэв (6^+), 2211,2 кэв (7^-), 2392,5 кэв, 2554,4 кэв (8^+) и 2906,0 кэв. В ^{/9/} изучены возбужденные состояния ^{150}Gd в реакции $^{151}\text{Eu} (p, n) ^{150}\text{Gd}$. Авторы работы ^{/9/} при исследовании возбужденных состояний ^{150}Gd изучали спектры e^- , γ и $e^- - \gamma$ -совпадений и измеряли угловые распределения гамма-квантов относительно направления пучка протонов. В этой работе определены спины и четности ряда возбужденных состояний ^{150}Gd с энергиями $638,1 \pm 0,2$ кэв (2^+), $1134,6 \pm 0,3$ кэв (3^-), $1288,3 \pm 0,3$ кэв (4^+), $1430,2 \pm 0,2$ кэв (2^+). Введены также уровни с энергиями 1518,4; 1700,7 и 1947,4 кэв.

Данных о распаде ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ мин) почти не было. Известно ^{/10/}, что первый возбужденный уровень $2^+ ^{148}\text{Gd}$ есть 784 кэв. В ^{/6/} при изучении распада изомерных состояний тербия был обнаружен изомер ^{148}Tb с периодом полураспада $T_{1/2} = (2,1 \pm 0,2)$ мин. Наблюдены уровни 784 кэв (2^+) и 1415 кэв (4^+) ^{148}Gd . Авторы ^{/7/}, используя данные работы ^{/6/}, ввели возбужденные состояния ^{148}Gd с энергией 784 кэв (2^+), 1415 кэв (4^+), 1811 кэв (6^+), 2693 кэв (8^+) и 4087 кэв (8^+ , 9^+ , 10^+).

В настоящей работе измерялся период полураспада ^{150}Tb ; ($3,48 \pm 0,16$) часа, исследовались спектры конверсионных электронов, гамма-лучей и гамма-гамма-совпадений при распаде ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,5$ часа) и ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ мин). Предварительные результаты анализа спектров гамма-гамма-совпадений при распаде ^{148}Tb и ^{150}Tb опубликованы в работах ^{/11,12/}.

2. Экспериментальная часть

а) Приготовление радиоактивных источников ^{148}Tb и ^{150}Tb .

Радиоактивные изотопы тербия получались в реакциях расщепления тантала протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ. Мишени тантала облучались на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона в течение 0,2 – 2 часов. Радиоактивные источники тербия и моноизотопные источники ^{148}Tb и ^{150}Tb получались методами, описанными в работе /13/.

б) Исследование спектров конверсионных электронов

Спектры конверсионных электронов в области малых энергий исследовались с помощью бета-спектрографов /14/ с однородным магнитным полем и с помощью $\text{Si}(\text{Li})$ -спектрометра /15/ и амплитудного анализатора АИ-4096. Толщина чувствительного слоя $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора 2,5 мм, площадь – 80 мм². Энергетическое разрешение спектрометра 2,6 кэв на линии К-121 ^{152}Eu . Отдельные участки спектра конверсионных электронов ^{150}Tb исследовались с помощью бета-спектрометра с двукратной фокусировкой пучка электронов /16/ на угол $\pi\sqrt{2}$. Результаты исследования спектров конверсионных электронов и выводы о мультипольности переходов в ^{150}Gd и ^{148}Gd сведены в таблицы 1 и 2.

в) Исследование спектров гамма-лучей

Спектры гамма-лучей ^{150}Tb и ^{148}Tb исследовались с помощью полупроводниковых $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов с чувствительными объемами 0,5 см³, 8,2 см³ и 38 см³. На рисунках 1-4 показаны спектры гамма-лучей ^{150}Tb и ^{148}Tb , измеренные с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов с чувствительными объемами 8,2 см³ и 38 см³. В таблицах 3 и 4 приведены экспериментальные данные об энергиях и относительных интен-

Таблица I

Относительные интенсивности конверсионных электронов и выводы о мультипольности некоторых переходов в ^{150}Gd

№ пп	$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	I_{γ}	I_{κ}	$\alpha_{\kappa \text{эксп.}}$ 10^3	$\alpha_{\kappa \text{теор.}} \times 10^3$			Мультип.
					E1	E2	M1	
1.	412,0	12,7 \pm 1,3	70 \pm 7	33,6 \pm 3,8	6,5	19	36	M1
2.	437,7	13,6 \pm 1,4	62 \pm 14	28 \pm 7	5,6	15,3	30	M1
3.	496,2	210 \pm 10	140 \pm 14	4,1 \pm 0,5	4,2	11,1	22	E1
4.	566,8	17,0 \pm 2,0	33 \pm 7	11,8 \pm 2,6	3,1	8	15,3	E2+M1
5.	569,6	36,0 \pm 4,0	65 \pm 8	11,0 \pm 1,7	3	7,8	15,1	E2+M1
6.	638,2	1000	1000	6,1	2,3	6,1	11,2	E2
7.	650,5	50,0 \pm 5,0	43 \pm 5	5,3 \pm 0,8	2,25	5,9	11	E2
8.	792,3	64,0 \pm 6,0	48 \pm 5	4,6 \pm 0,7	1,5	3,8	6,8	E2
9.	813,0	9,0 \pm 1,3	<9,6	<6,5	1,4	3,5	6,3	(E2)
10.	821,0	20,0 \pm 2,0	<9,6	<2,9	1,4	3,5	6,2	E1
11.	880,0	45,0 \pm 3,0	40 \pm 4	5,4 \pm 0,7	1,2	3	5,3	M1
12.	1207,5	<2	46 \pm 6	>140	0,7	1,6	2,6	E0
13.	1429,5	33,0 \pm 2,0	<6,5	<1,2	0,52	1,13	1,7	E1
14.	1452,6	51,5 \pm 2,5	<5,8	<0,7	0,5	1,1	1,7	E1
15.	1517,3	41,0 \pm 3,0	8 \pm 2	1,2 \pm 0,3	0,46	1	1,4	E2
16.	1591,5	24,0 \pm 1,5	7 \pm 2	1,8 \pm 0,5	0,43	0,96	1,3	M1

Примечание: При расчете экспериментальных значений α_{κ} принималось, что переход с энергией 638,2 кэВ типа E2 ($\alpha_{\kappa \text{теор.}} = 6,1 \cdot 10^{-3}$)

Таблица 2

Относительные интенсивности конверсионных электронов
и мультипольность некоторых переходов в ^{148}Gd

№ п/п	E_{γ} , кэВ	I_{γ}	I_{κ}	α_{κ} эксп. $\times 10^3$	α_{κ} теор. $\times 10^3$			Мультипольн.
					E1	E2	M1	
1.	142,0	$6,8 \pm 0,7$	210 ± 50	120 ± 24	100	450	640	E1
2.	489,1	295 ± 17	275 ± 55	$3,6 \pm 0,7$	4,3	11,3	23	E1
3.	631,1	133 ± 5	250 ± 50	$7,4 \pm 1,5$	2,4	6,2	11,5	E2
4.	783,4	1000	1000	3,9	1,5	3,9	6,9	E2
5.	1077,1	138 ± 8	<100	$<2,8$	0,85	1,95	3,3	(E2)

Примечание: При расчете экспериментальных значений α_{κ} принималось, что переход с энергией 783,4 кэВ типа E2 ($\alpha_{\kappa \text{ теор.}} = 3,9 \cdot 10^{-3}$).

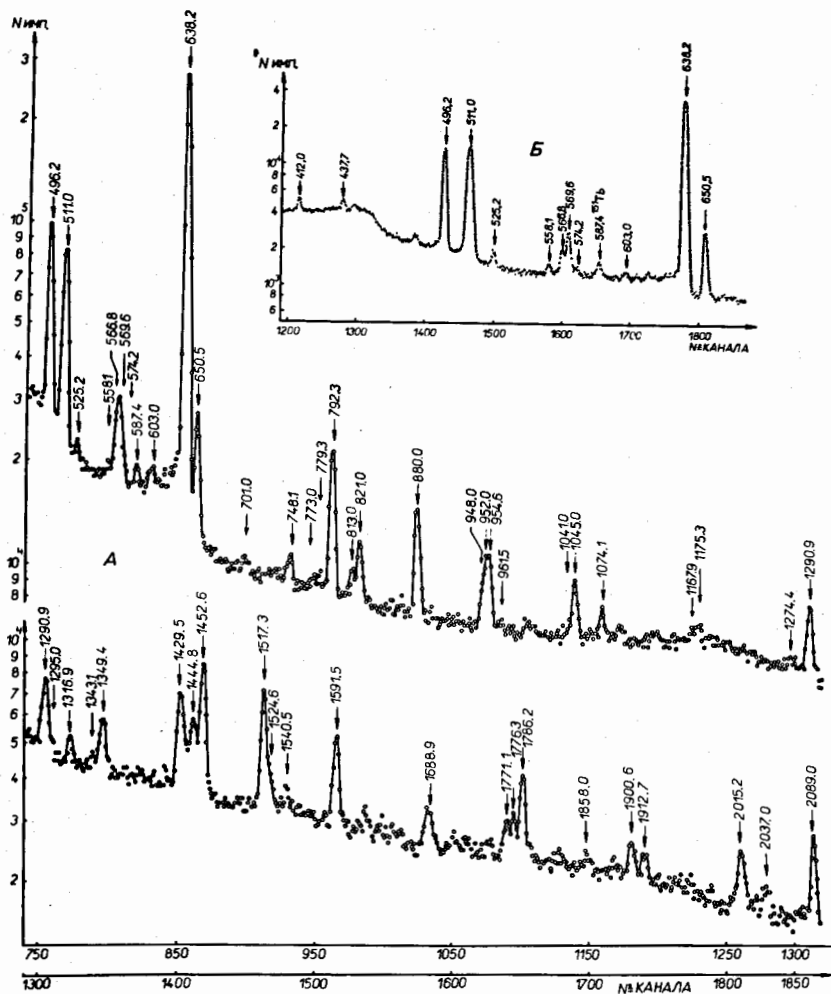


Рис. 1. Спектр гамма-лучей ¹⁵⁰Tb в области энергий до 2100 кэв:
 а) спектр гамма-лучей, измеренный с помощью Ge(Li)-детектора 38 см³ с использованием фильтра-поглотителя (3 мм Pb + 0,5 мм Cd + 0,5 мм Cu), б) участок спектра гамма-лучей, измеренный с помощью Ge(Li)-детектора 8,2 см³.

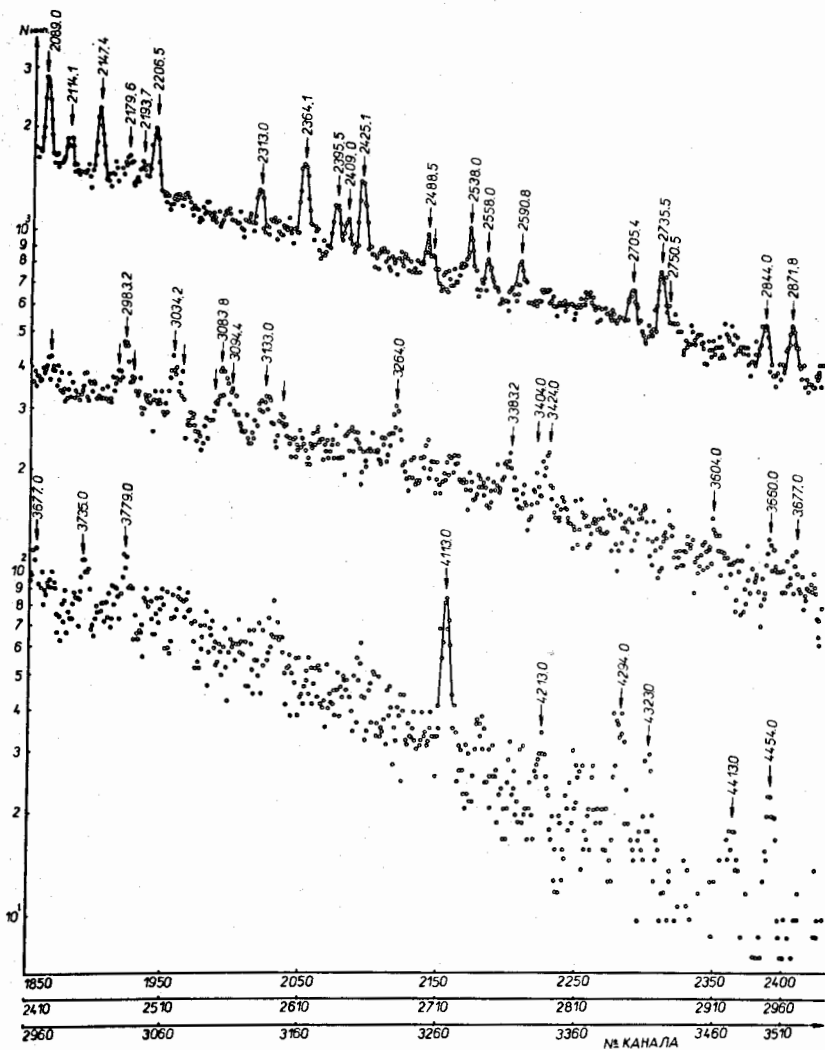


Рис. 2. Спектр гамма-лучей ^{150}Tb в области энергий 2050–4500 кэВ, измеренный с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора 38 см^3 с использованием фильтра-поглотителя (3 мм Pb + 0,5 мм Cd + 0,5 мм Cu).

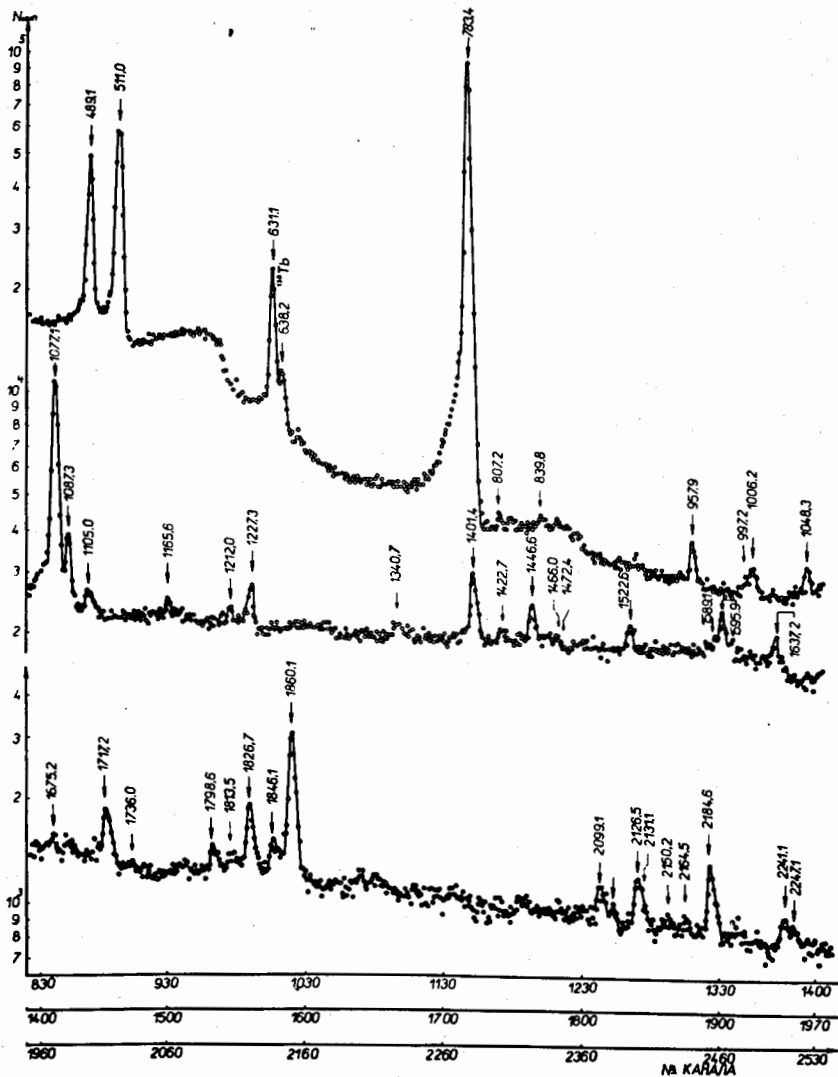


Рис. 3. Спектр гамма-лучей ^{148}Tb в области энергий до 2250 кэВ, измеренный с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора 38 см^3 с использованием фильтра-поглотителя (3 мм Pb + 0,5 мм Cd + 0,5 мм Cu).

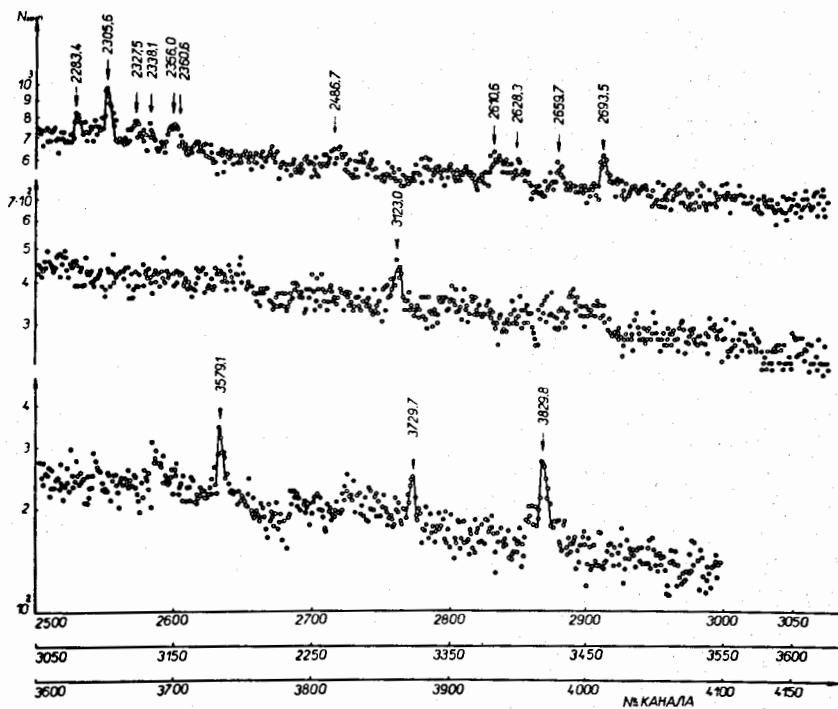


Рис. 4. Спектр гамма-лучей ^{148}Tb в области энергий 2250–4000 кэВ, измеренный с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора 38 см^3 с использованием фильтра-поглотителя (3 мм Pb + 0,5 мм Cd + 0,5 мм Cu).

Таблица 3

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей,
возникающих при распаде ^{150}Tb

№ пп	E_{γ} , кэВ	I_{γ}	№ пп	E_{γ} , кэВ	I_{γ}
1	2	3	1	2	3
1.	K_{α}	810 ± 60	26.	$954,6 \pm 0,5$	$13,0 \pm 2,0$
2.	K_{β_1}	150 ± 8	27.	$961,5 \pm 0,6^a)$	~ 5
3.	K_{β_2}	35 ± 4	28.	$1041,0 \pm 1,0^a)$	$3,3 \pm 1,0$
4.	$412,0 \pm 0,5$	$12,7 \pm 1,3$	29.	$1045,0 \pm 0,9$	$21,0 \pm 2,0$
5.	$437,7 \pm 0,4$	$13,6 \pm 1,4$	30.	$1074,1 \pm 0,5^a)$	$12,0 \pm 3,0$
6.	$496,2 \pm 0,2$	210 ± 10	31.	$1167,9 \pm 0,5^a)$	$7,0 \pm 2,0$
7.	$511,0 \pm 0,2$	282 ± 30	32.	$1175,3 \pm 0,5^a)$	$8,5 \pm 2,0$
8.	$525,2 \pm 0,4$	$9,5 \pm 1,5$	33.	$1207,5 \pm 0,3$	< 2
9.	$558,1 \pm 0,4^a)$	~ 5	34.	$1274,4 \pm 0,5$	$5,0 \pm 2,0$
10.	$566,8 \pm 0,5$	$17,0 \pm 2,0$	35.	$1290,9 \pm 0,4$	$25,0 \pm 2,0$
11.	$569,6 \pm 0,4$	$36,0 \pm 4,0$	36.	$1295,0 \pm 0,6^a)$	~ 7
12.	$574,2 \pm 0,7^a)$	~ 5	37.	$1316,9 \pm 0,4$	$5,4 \pm 1,0$
13.	$603,0 \pm 0,3^a)$	$6,0 \pm 2,0$	38.	$1343,1 \pm 0,7^a)$	$7,8 \pm 2,0$
14.	$638,2 \pm 0,2$	1000	39.	$1349,4 \pm 0,6^a)$	$17,5 \pm 1,5$
15.	$650,5 \pm 0,2$	$50,0 \pm 5,0$	40.	$1387,4 \pm 0,6^a)$	~ 5
16.	$701,0 \pm 1,0^a)$	$4,5 \pm 1,0$	41.	$1429,5 \pm 0,6$	$33,0 \pm 2,0$
17.	$748,1 \pm 0,7^a)$	$11,0 \pm 2,0$	42.	$1444,8 \pm 0,6$	$13,5 \pm 1,5$
18.	$773,0 \pm 0,6^a)$	~ 5	43.	$1452,6 \pm 0,4$	$51,5 \pm 2,5$
19.	$779,3 \pm 0,5^a)$	$7,5 \pm 2,0$	44.	$1517,3 \pm 0,4$	$41,0 \pm 3,0$
20.	$792,3 \pm 0,4$	$64,0 \pm 6,0$	45.	$1524,6 \pm 0,6^a)$	$6,6 \pm 0,7$
21.	$813,0 \pm 0,5^a)$	$9,0 \pm 1,3$	46.	$1540,5 \pm 0,6$	$6,2 \pm 1,5$
22.	$821,0 \pm 0,5$	$20,0 \pm 2,0$	47.	$1591,5 \pm 0,4$	$24,0 \pm 1,5$
23.	$880,0 \pm 0,5$	$45,0 \pm 3,0$	48.	$1688,9 \pm 0,5^a)$	$10,0 \pm 3,0$
24.	$948,0 \pm 1,0$	$15,0 \pm 2,0$	49.	$1771,1 \pm 0,5$	$8,0 \pm 2,0$
25.	$952,0 \pm 0,6^a)$	$13,0 \pm 2,0$	50.	$1776,3 \pm 1,3^a)$	$7,0 \pm 2,0$

продолжение таблицы 3

I	2	3	I	2	3
51. 1786,2 \pm 0,5		23,0 \pm 3,0	74. 2750,5 \pm 1,0 ^{a)}		~ 3
52. 1858,0 \pm 1,0 ^{a)}		~ 4	75. 2844,0 \pm 0,5 ^{a)}		4,8 \pm 0,3
53. 1900,6 \pm 0,5		8,7 \pm 0,5	76. 2871,8 \pm 0,5 ^{a)}		5,0 \pm 0,3
54. 1912,7 \pm 0,5 ^{a)}		5,6 \pm 0,8	77. 2883,2 \pm 0,6 ^{a)}		5,1 \pm 0,5
55. 2015,2 \pm 0,4 ^{a)}		16,0 \pm 2,0	78. 3034,2 \pm 1,2		5,0 \pm 1,0
56. 2037,0 \pm 1,2		11,0 \pm 2,0	79. 3083,8 \pm 0,4 ^{a)}		4,8 \pm 0,6
57. 2089,0 \pm 1,0		19,5 \pm 1,0	80. 3094,4 \pm 0,7 ^{a)}		2,3 \pm 0,6
58. 2114,1 \pm 1,3 ^{a)}		6,0 \pm 1,0	81. 3133,0 \pm 3,0 ^{a)}		~ 2
59. 2147,4 \pm 0,5 ^{a)}		13,0 \pm 1,5	82. 3264,0 \pm 3,0 ^{a)}		~ 5
60. 2179,6 \pm 0,5		4,0 \pm 1,0	83. 3383,2 \pm 2,0		~ 3
61. 2193,7 \pm 0,8 ^{a)}		3,5 \pm 0,5	84. 3404,0 \pm 2,0 ^{a)}		~ 5
62. 2206,5 \pm 0,5 ^{a)}		13,0 \pm 2,0	85. 3424,0 \pm 2,0 ^{a)}		3,0 \pm 1,0
63. 2313,0 \pm 1,0 ^{a)}		5,3 \pm 0,6	86. 3604,0 \pm 2,0 ^{a)}		1,0 \pm 0,4
64. 2364,1 \pm 0,5 ^{a)}		13,0 \pm 2,0	87. 3660,0 \pm 2,0 ^{a)}		1,1 \pm 0,4
65. 2395,5 \pm 0,5		8,5 \pm 0,8	88. 3677,0 \pm 2,0 ^{a)}		0,8 \pm 0,3
66. 2409,0 \pm 0,5		5,2 \pm 0,5	89. 3735,0 \pm 2,0 ^{a)}		1,6 \pm 0,4
67. 2425,1 \pm 0,3		13,0 \pm 2,0	90. 3779,0 \pm 2,0 ^{a)}		1,6 \pm 0,3
68. 2488,5 \pm 1,0 ^{a)}		~ 7	91. 4113,0 \pm 3,0 ^{a)}		2,5 \pm 0,4
69. 2538,0 \pm 0,5		7,0 \pm 1,0	92. 4213,0 \pm 3,0 ^{a)}		1,0 \pm 0,3
70. 2558,0 \pm 2,0		~ 2	93. 4294,0 \pm 3,0 ^{a)}		1,6 \pm 0,4
71. 2590,8 \pm 0,5 ^{a)}		3,6 \pm 0,3	94. 4323,0 \pm 3,0 ^{a)}		1,1 \pm 0,4
72. 2705,4 \pm 0,5 ^{a)}		4,6 \pm 0,7	95. 4413,0 \pm 3,0 ^{a)}		0,6 \pm 0,2
73. 2735,5 \pm 0,8 ^{a)}		8,0 \pm 1,5	96. 4454,0 \pm 3,0 ^{a)}		0,9 \pm 0,2

Примечание: ^{a)} Переходы не размещены в схеме распада.

Таблица 4

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей,
возникающих при распаде ^{148}Tb

№ пп	E_γ , кэВ	I_γ	№ пп	E_γ , кэВ	I_γ
1.	$K\alpha$	600 ± 30	25.	$1472,4 \pm 1,0^a)$	$3,8 \pm 1,9$
2.	$K\beta_1$	114 ± 6	27.	$1522,6 \pm 0,4^a)$	$6,6 \pm 1,6$
3.	$K\beta_2$	30 ± 2	28.	$1589,1 \pm 0,8$	$3,0 \pm 0,7$
4.	$142,0 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,7$	29.	$1595,9 \pm 0,2^a)$	$12,5 \pm 1,3$
5.	$489,1 \pm 0,3$	295 ± 17	30.	$1637,2 \pm 0,5$	$12,9 \pm 2,3$
6.	$511,0 \pm 0,1$	440 ± 16	31.	$1675,2 \pm 0,4^a)$	$2,8 \pm 0,5$
7.	$631,1 \pm 0,3$	133 ± 5	32.	$1717,2 \pm 0,4$	$18,5 \pm 2,0$
8.	$783,4 \pm 0,2$	1000	33.	$1736,0 \pm 1,0$	$\sim 1,6$
9.	$807,2 \pm 0,4^a)$	$4,6 \pm 1,0$	34.	$1798,6 \pm 0,3^a)$	$7,5 \pm 0,8$
10.	$839,8 \pm 0,4^a)$	$4,9 \pm 1,0$	35.	$1813,5 \pm 0,5^a)$	$4,9 \pm 0,9$
11.	$957,9 \pm 0,2$	$9,0 \pm 1,6$	36.	$1826,7 \pm 0,3$	$15,1 \pm 4,8$
12.	$997,2 \pm 0,6^a)$	$5,2 \pm 0,8$	37.	$1846,1 \pm 0,6$	$8,1 \pm 2,1$
13.	$1006,2 \pm 0,3$	$11,8 \pm 1,4$	38.	$1860,1 \pm 0,2$	$65,2 \pm 2,4$
14.	$1048,3 \pm 0,3^a)$	$6,0 \pm 1,3$	39.	$1909,8 \pm 0,8$	$4,1 \pm 1,0$
15.	$1077,1 \pm 0,2$	138 ± 8	40.	$2099,1 \pm 0,5$	$10,0 \pm 2,0$
16.	$1087,3 \pm 0,4$	$20,0 \pm 2,6$	41.	$2126,5 \pm 0,4$	$11,0 \pm 1,4$
17.	$1105,0 \pm 0,7$	$9,0 \pm 3,2$	42.	$2131,1 \pm 0,3^a)$	$6,2 \pm 0,5$
18.	$1165,6 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,4$	43.	$2150,2 \pm 0,4^a)$	$3,6 \pm 1,0$
19.	$1212,0 \pm 1,0^a)$	~ 2	44.	$2164,5 \pm 0,5^a)$	$2,9 \pm 1,0$
20.	$1227,3 \pm 0,4$	$10,7 \pm 0,7$	45.	$2184,6 \pm 0,2$	$14,3 \pm 1,5$
21.	$1340,7 \pm 0,7^a)$	$5,8 \pm 1,3$	46.	$2241,1 \pm 0,9$	$5,1 \pm 1,6$
22.	$1401,4 \pm 0,2$	$25,0 \pm 3,5$	47.	$2247,1 \pm 1,0^a)$	$4,2 \pm 1,2$
23.	$1422,7 \pm 0,6$	$2,7 \pm 1,0$	48.	$2283,4 \pm 0,5^a)$	$4,2 \pm 1,1$
24.	$1446,6 \pm 0,3$	$8,6 \pm 2,0$	49.	$2305,6 \pm 0,5^a)$	$9,7 \pm 1,2$
25.	$1466,0 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,8$	50.	$2327,5 \pm 0,7^a)$	$4,3 \pm 1,3$

продолжение таблицы 4

1	2	3	1	2	3
51.	2338,1±0,9 ^{a)}	3,6±1,0	57.	2659,7±0,6 ^{a)}	3,8±1,5
52.	2356,0±0,9 ^{a)}	3,0±1,0	58.	2693,5±0,6	4,3±1,0
53.	2360,6±0,6 ^{a)}	3,6±1,0	59.	3123,0±1,5 ^{a)}	7,7±2,1
54.	2486,7±0,8	4,1±1,3	60.	3579,1±0,5 ^{a)}	6,0±2,4
55.	2610,6±2,0	~2,5	61.	3729,7±0,6 ^{a)}	3,1±1,0
56.	2628,3±2,0	~2,0	62.	3829,8±0,6 ^{a)}	6,1±1,1

Примечание: а) Переходы не размещены в схеме распада.

Таблица 5

Результаты анализа спектров гамма-гамма-совпадений
при распаде ¹⁵⁰Tb

$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	496	511	566,8 570	638	651	792	821	880
496			+	+	+			+	
511		+			+				
570					+				
638		+	+	+		+	+	+	+
651					+				
792					+				
821		+			+				
880					+				
952}		+			+				
954}									

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

сивностях гамма-лучей при распаде ^{150}Tb и ^{148}Tb . Указанные в таблицах ошибки определения относительных интенсивностей не включают в себя погрешности, обусловленные неточностью в определении эффективности регистрации гамма-лучей. Эффективность регистрации гамма-излучения определялась с помощью калибровочных источников ^{133}Ba , ^{152}Eu , ^{56}Co и ^{226}Ra . Обработка гамма-спектров проводилась при помощи ЭВМ "Минск-2" с использованием светового карандаша /17/ и программы "Каток" /18/. При определении энергий гамма-лучей в качестве градуировочных использовались энергии гамма-лучей ^{226}Ra , ^{137}Cs и ^{56}Co . Интенсивность гамма-лучей в процентах на распад ^{148}Tb и ^{150}Tb определялась путем сравнения их с интенсивностью наблюдаемого рентгеновского излучения. В результате получено, что интенсивность гамма-лучей с энергией 783,4 кэВ составляет $(86 \pm 10)\%$ на распад ^{148}Tb , а интенсивность гамма-лучей с энергией 638,2 кэВ составляет $(72 \pm 9)\%$ на распад ^{150}Tb . Из анализа спектров гамма-лучей определено, что ^{150}Tb ($T_{1/2} = 3,5$ час) распадается путем испускания позитронов в $(11,3 \pm 1,2)\%$ случаев на один распад и ^{148}Tb ($T_{1/2} = 66$ мин) - в $(20,2 \pm 2,0)\%$ случаев на один распад.

г) Определение коэффициентов внутренней конверсии (КВК) и мультипольности переходов в ядрах ^{150}Gd и ^{148}Gd .

В таблицах 1 и 2 представлены экспериментальные и теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии ряда переходов в ядрах ^{150}Gd и ^{148}Gd . Экспериментальные значения КВК, как видно из таблиц, определялись путем нормировки экспериментальных данных относительно переходов типа $E2$ (в ядре ^{150}Gd - относительно перехода с энергией 638,2 кэВ, в ядре ^{148}Gd - относительно перехода с энергией 783,4 кэВ). При сравнении наших результатов с результатами работы /9/ наблюдается большое расхождение в экспериментальных значениях α_k для перехода с энергией 412,0 кэВ. Возможно, этот переход отвечает также за разрядку другого уровня в ^{150}Gd .

д) Исследование спектров гамма-гамма совпадений
Спектры гамма-гамма-совпадений изучались с помощью двухмерного анализатора с цифровыми окнами на базе ЭВМ "Минск-2" /19/. Использовались два $Ge(Li)$ -детектора с чувствительными объемами 25 см^3 и разрешением 4,5 кэВ на гамма-лучах 1332 кэВ ^{60}Co . В качестве источников ^{148}Tb и ^{150}Tb использовались моноизотопные препараты. В таблице 5 сведены результаты анализа спектров гамма-гамма-совпадений при распаде ^{150}Tb . При анализе спектров совпадений гамма-лучей в каждом случае учитывался вклад от совпадений с комптоновским распределением спектра. При распаде ^{148}Tb с гамма-лучами 783,4 кэВ наблюдались совпадения гамма-лучей с энергиями 489,1; 631,1; 1077,1; 1087,3; 1446,6 кэВ.

3. Схема распада $^{150}Tb \rightarrow ^{150}Gd$

На рисунке 5 представлена схема распада $^{150}Tb \rightarrow ^{150}Gd$, предлагаемая на основе результатов исследования спектров гамма-лучей, конверсионных электронов и спектров гамма-гамма-совпадений. Уровни ^{150}Gd , введенные на основе анализа спектров гамма-гамма-совпадений, отмечены на рисунке кружками, остальные уровни введены на основе энергетического баланса и баланса интенсивностей. На этом рисунке приведены также возбужденные состояния ^{150}Gd , наблюдаемые при распаде изомера ^{150}Tb (9^+) ($T_{1/2} = 6,0$ мин) /7,8/, а также уровни ^{150}Gd , наблюдаемые при исследовании реакции ^{151}Eu ($p, 2n$) ^{150}Gd /9/. Анализ спектров гамма-лучей и конверсионных электронов при распаде ^{150}Tb привел к обнаружению перехода типа EO с энергией 1207,5 кэВ, что позволило нам ввести уровень с энергией 1207,5 кэВ (0^+) в ^{150}Gd . Наблюдаемая разрядка ряда уровней переходами определенной мультипольности позволяет уровням с энергией 638,2; 1134,4; 1207,5; 1288,7; 1430,1; 1452,2; 1518,0; 1701,5 и 1955,5 кэВ приписать

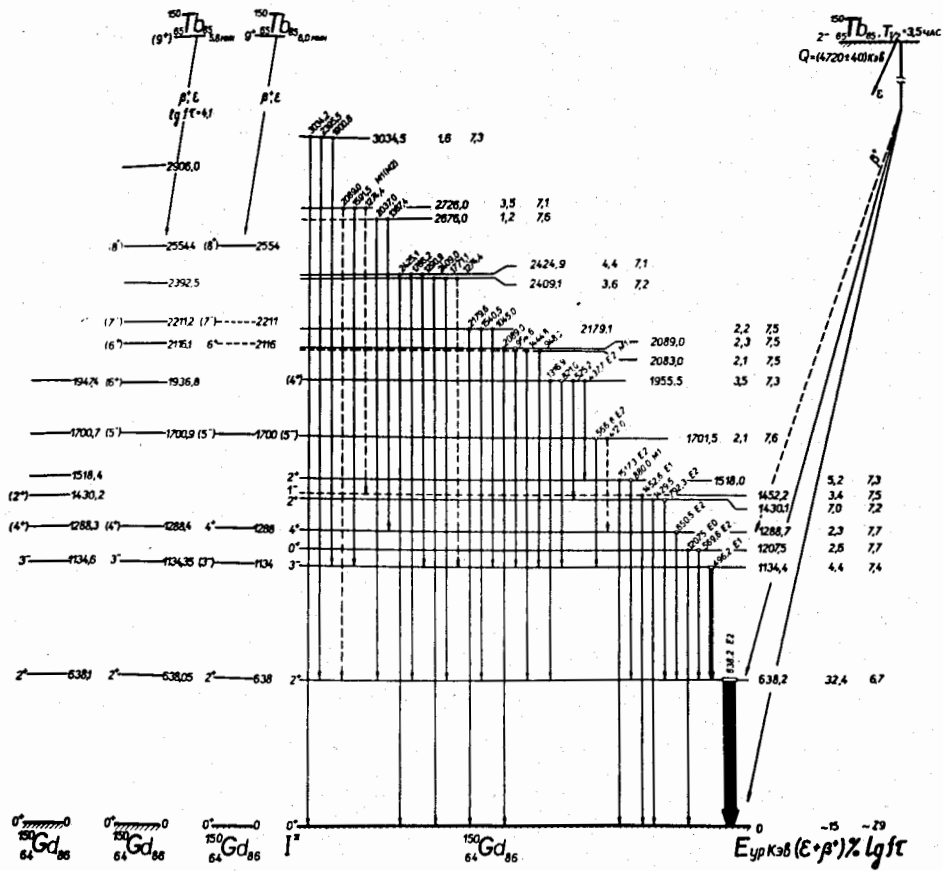


Рис. 5. Схема распада $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Gd}$. Незачерченные кружки на уровнях обозначают, что уровень подтверждается совпадениями. Слева приведены возбужденные состояния ^{150}Gd , наблюдаемые при распаде изомера $^{150}\text{Tb} /7,8/$, а также уровни ^{150}Gd , наблюдаемые при исследовании реакции $^{151}\text{Eu} (p, 2n) ^{150}\text{Gd} /9/$.

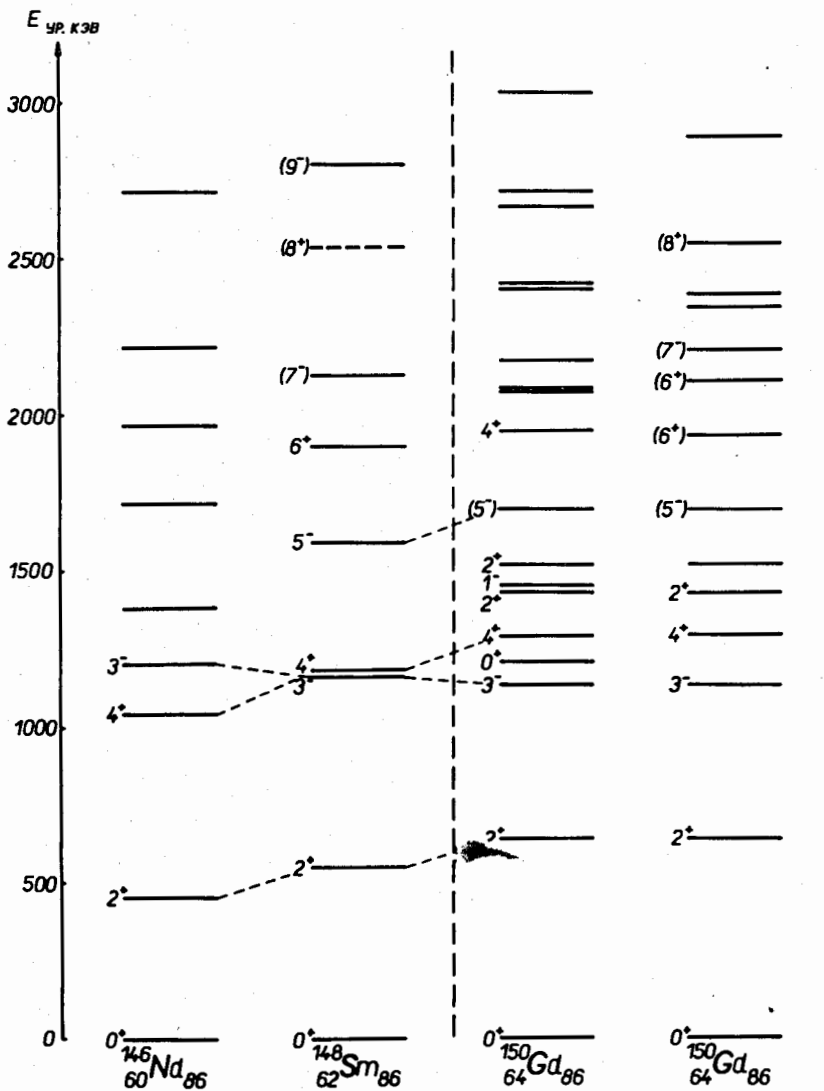


Рис. 6. Возбужденные уровни четно-четных ядер с $N = 86$.

спины и четность $2^+, 3^-, 0^+, 4^+, 2^+, 1^-, 2^+, (5^-), 4^+$, соответственно. На рис. 6 для сравнения с наблюдаемыми уровнями ^{150}Gd приведены возбужденные состояния соседних ядер ^{146}Nd и ^{148}Sm ($N = 86$).

4. Схема распада $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$

На рисунке 7 представлена схема распада $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$. Уровни ^{148}Gd , введенные на основе анализа спектров гамма-гамма-совпадений, отмечены на рисунке кружками. На этом рисунке для сравнения приведены также возбужденные состояния ^{148}Gd , наблюдаемые при распаде изомера $^{148}\text{Tb} (9^+) /7/$ ($T_{1/2} = 2,1$ мин). При расчете значений $lg f r$ при распаде ^{148}Tb значение разности масс $^{148}\text{Tb} - ^{148}\text{Gd}$ было взято равным 5362 кэв $/20/$.

Наблюдаемая разрядка ряда уровней переходами определенной мультипольности позволяет уровням с энергией 783,4; 1272,5; 1414,5 и 1860,3 кэв приписать спин и четность $2^+, 3^-, 4^+$ и (2^+) соответственно. На рис. 8 проведено сравнение расположения возбужденных состояний соседних ядер с $N = 84$; ^{144}Nd , $^{146}\text{Sm} /21/$ и ^{148}Gd .

5. Обсуждение результатов

На рис. 9 показано расположение аналогичных нижних состояний для соседних ядер гадолиния. Данные о расположении возбужденных уровней ^{146}Gd взяты из работ $/22,23/$. Авторы работы $/22/$ при исследовании возбужденных состояний ядер гадолиния в реакциях ($^4\text{He}, xn$) и ($^3\text{He}, xn$), используя обогащенные мишени изотопов самария, наблюдали нижние 2^+ состояния в ядрах гадолиния с энергиями 344,2 кэв - ^{152}Gd , 637 кэв - ^{150}Gd , 790 кэв - ^{148}Gd , 1065 кэв - ^{146}Gd и 921 кэв - ^{144}Gd . Как видно из рисунка 9, наблюдается

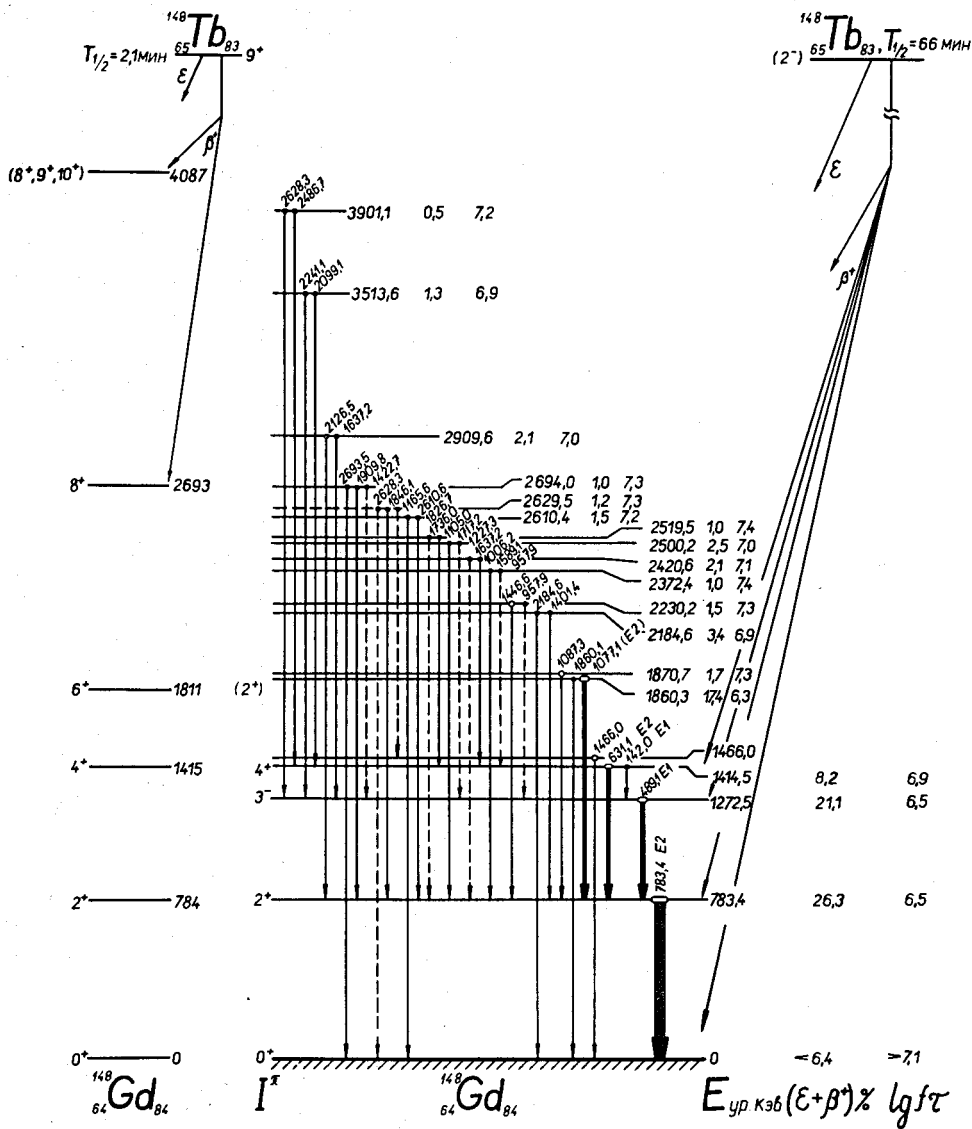


Рис. 7. Схема распада $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$. Незачерченные кружки на уровнях обозначают, что уровень подтверждается совпадениями. Слева приведены возбужденные состояния ^{148}Gd , наблюдаемые при распаде изомера ^{148}Gd /7/.

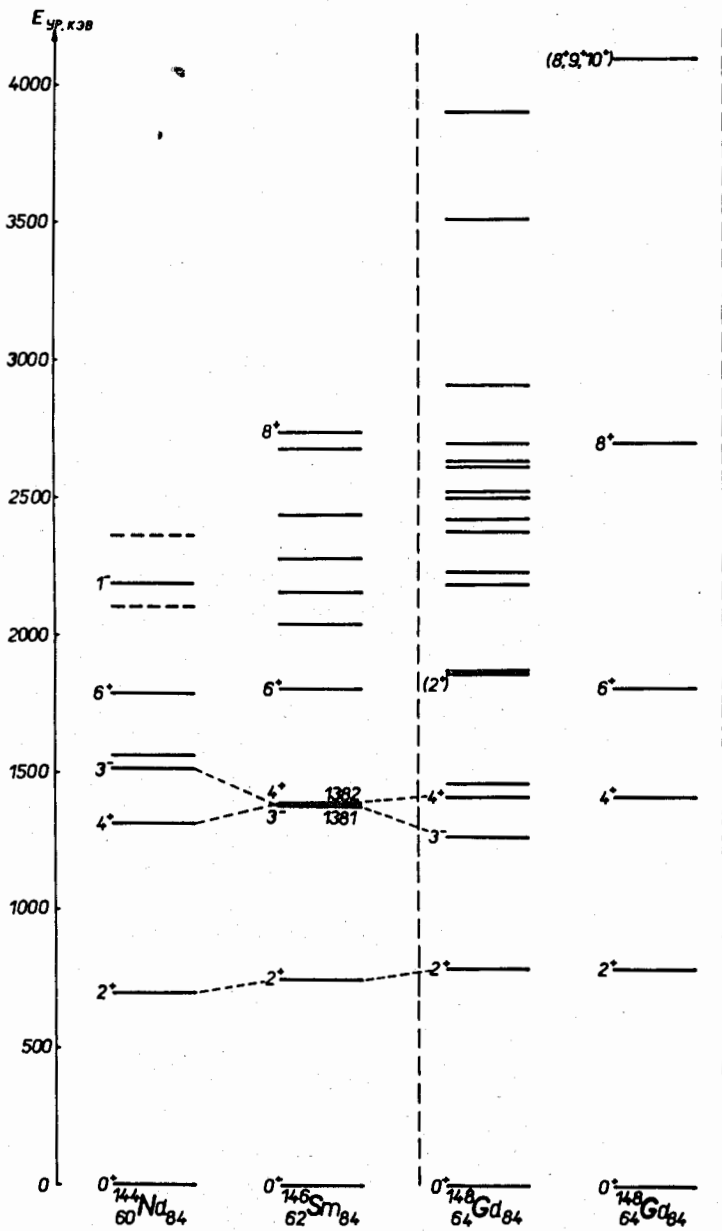


Рис. 8. Возбужденные уровни четно-четных ядер с $N = 84$.

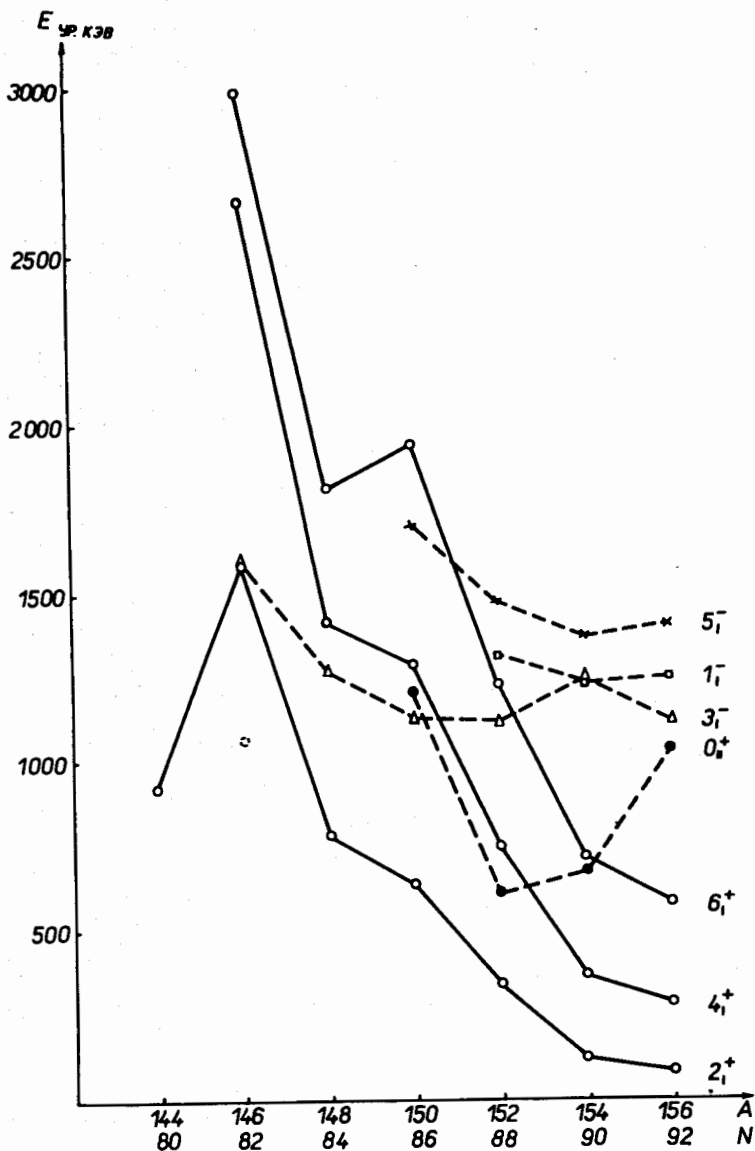


Рис. 9. Расположение аналогичных нижних состояний ядер гадолиния с $N = 80 \div 92$.

излом в поведении уровней 2^+ , 4^+ , 6^+ в области ядер ^{150}Gd и ^{148}Gd , что может свидетельствовать о резком изменении структуры этих уровней. В соседнем ядре ^{152}Gd /24/ наблюдаются квазиротационные полосы: ротационная полоса основного состояния 0^+ и полоса, основанная на бета-вибрационном 0^+ состоянии, тогда как в ядре ^{150}Gd наблюдаемые состояния с энергией 1207,5 кэВ (0^+), 1288,7 кэВ (4^+) и 1430,1 кэВ (2^+) можно интерпретировать как члены двухфононного триплета.

В ядре ^{148}Gd расстояния между уровнями 0^+ , 2^+ , 4^+ и 6^+ уменьшаются, что характерно также для соседних ядер с $N = 84$: ^{146}Sm и ^{144}Nd . В этих ядрах имеется два нейтрона сверх заполненной оболочки $N = 82$. Затруднение в интерпретации таких состояний как члены ротационной полосы, характерной для деформированных ядер, или как члены фононных мультиплетов, выступающих в сферических ядрах, а также неприменимость феноменологических формул привели к предположению /7/, что состояния 0^+ , 2^+ , 4^+ и 6^+ являются членами мультиплета ($f_{7/2}$)². Не исключено, что в ядре ^{150}Gd некоторые из наблюдаемых состояний 2^+ , 4^+ , 6^+ /7/ являются также членами мультиплета ($f_{7/2}$)².

В работе Джолоса /25/ показано, что в ядрах, в которых жесткость по отношению к гамма-колебаниям достаточно велика, можно рассчитать значение $E(O_2)$ по формуле

$$E(O_2) = E(2_1) \sqrt{\frac{2E(4_1) \left(\frac{E(4_1)}{E(2_1)} - 1 \right)}{\frac{10}{3} - \frac{E(4_1)}{E(2_1)}}} \quad (1)$$

В таблице 6 сведены результаты отношений $\frac{E(4_1)}{E(2_1)}$ экп., $\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ эксп. и $\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ теор. для ядер гадолиния.

Таблица 6

Значение величин $\frac{E(4_1)}{E(2_1)}$ эксп., $\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ экп., $\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ теор. для ядер гадолиния

Ядро	$\frac{E(4_1)}{E(2_1)}$ эксп.	$\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ эксп.	$\frac{E(O_2)}{E(2_1)}$ теор.
¹⁵⁸ Gd	3,29	18,2	19,4
¹⁵⁶ Gd	3,24	11,8	12,4
¹⁵⁴ Gd	3,02	5,54	6,18
¹⁵² Gd	2,19	1,79	2,15
¹⁵⁰ Gd	2,02	1,89	1,77
¹⁴⁸ Gd	1,80	-	1,38

Как видно из таблицы, для ядра ¹⁵⁰Gd наблюдается удовлетворительное согласие величин

$$\frac{E(O_2)}{E(2_1)} \text{ эксп.} = 1,89 \text{ и } \frac{E(O_2)}{E(2_1)} \text{ теор.} = 1,77.$$

Из формулы (1) вытекает, что, если наблюдаемые низшие уровни 2^+ , 4^+ являются коллективными состояниями, то в ядре ¹⁴⁸Gd состояние 0_2^+ должно появляться приблизительно при энергии 1060 кэв.

Если рассматривать нечетные 65 протон и 83 (85) нейтрон в ядрах ^{148}Tb и ^{150}Tb на оболочках $d_{7/2}$ и $f_{7/2}$ для протона и нейтрона соответственно, то, согласно оболочечной модели Майер, основное состояние ^{150}Tb имеет конфигурацию

$$\{p(d_{3/2})^1 n(f_{7/2})^3\} \quad , \text{ а}$$

$$^{148}\text{Tb} \text{ — } \{p(d_{3/2})^1 n(f_{7/2})^1\} .$$

Эти конфигурации допускают значения спинов основных состояний ^{148}Tb и ^{150}Tb 5^- , 4^- , 3^- и 2^- .

Из схем распада этих ядер и значений $lg f_T$ можно сделать вывод о том, что значения спина и четности основных состояний ^{148}Tb и ^{150}Tb должны быть 2^- .

Литература

1. А.С. Данагулян, А.Т. Стригачев, В.С. Шпинель. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, 90, 1964.
2. K.S.Toht, S.Bjørnholm, M.Jørgensen, O.B.Nielsen and O.Skilbreid. Phys.Rev., 116, 118, (1959).
3. А.Т. Стригачев, Л.С. Новиков, А.А. Сорокин, В.А. Халкин, Н.В. Цвелокова, В.С. Шпинель. Изв. АН СССР, сер. физ., 25, 813, 1961.
4. Y.Gönö, T.Araki and K.Hiruta. J.Phys.Soc. Japan 29, 1379, (1970).
5. К. Вильский, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, Г. Музиоль, О.Б. Нильсен, О. Скилбрайт. Препринт ОИЯИ, Р6-3128, 1967. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 187 (1968).
6. Р. Арльт, Г. Байер, В.В. Кузнецов, В. Нойберт, А.В. Потемпа, У. Хагеманн, Э. Херрманн. Препринт ОИЯИ, Р6-5681, 1971; Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 1612 (1971).
7. Р. Арльт, В.В. Кузнецов, В. Нойберт, Л.К. Пекер, А.В. Потемпа, У. Хагеманн. Препринт ОИЯИ, Р6-8167, 1971.

8. D.R.Haenni, T.T.Sugihara and W.W.Bowman. Phys.Rev. C, 5, 3, 1113 (1972).
9. D.Kewley, D.A.Eastham, P.D.Forsyth, B.W.Renwick, D.G.E.Martin, C.J.Gibbins and B.Byrne. Nucl.Phys. A165, 1, 56-72, 1971.
10. Б.С. Дзелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер, $A \geq 100$, 337, изд. "Наука", М.-Л., 1966.
11. К.Я. Громов, И.И. Громова, Г.И. Исхаков, В.В. Кузнецов, М.Я.Кузнецова, А.В. Потемпа, В.И. Фоминых. Изд.ОИЯИ, Д6-5783, 120, Дубна, 1971.
12. К.Я. Громов, И.И. Громова, Г.И. Исхаков, В.В. Кузнецов, М.Я.Кузнецова, А.В. Потемпа, М.И. Фоминых, Д6-5783, Дубна, 1971.стр.116.
13. Ц. Вылов, К.Я. Громов, И.И. Громова, Г.И. Исхаков, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Н.А. Лебедев, М.И. Фоминых. Препринт ОИЯИ . Р6-6511, Дубна, 1972.
14. А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, Г.Я. Умаров. "Бета-спектрографы с постоянными магнитами". Изд. ФАН, Ташкент, 1970.
15. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, А.И. Калинин, Б.П. Осипенко, И. Пенев, В.И. Фоминых, В.Г. Чумин. Изд.ОИЯИ, Д6-5783, 188, 1971.
16. I.Adam, V.G.Chumin, Yu.N.Denisov, M.Finger, K.Ya.Gromov, M.Ya.Kuznetsova, Lu Si-ting. Preprint JINR, E-2494, 1965.
17. З.В. Лысенко, Й. Томик, В.Р. Трубников. Препринт ОИЯИ, 10-3331, Дубна, 1967.
18. В. Гаджоков. Препринт ОИЯИ, Р10-5035, Дубна, 1970; ПТЭ, №5, 82 (1970).
19. 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).
20. W.D.Myers, W.J.Swiatecki, UCRL-11980, 1965.
21. С.М.Lederer, J.M.Hollander and I.Pperlman, Table of Isotopes, Wiley, New York, 1968.
22. R.A.Naumann, H.Hübel and E.H.Spejewski. Bull.Am.Phys. Soc. 16, No.4, 130, 1971.

23. Л.К. Пекер, Х. Риде, В.О. Сергеев, З. Суйковский, Я. Ковнацки. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 1, 111 (1972).
24. И. Адам, П. Галан, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В. В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Н.А. Лебедев, О.Б. Нильсен, Т. Пазманова, Я.Урбанец, М. Фингер. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 4, 813 (1970).
25. Р.В. Джолос. Препринт ОИЯИ, Р4-5982, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июня 1972 года.