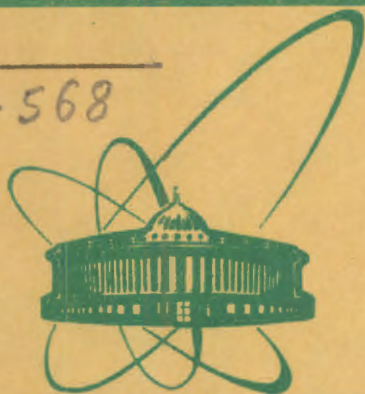


Б-568



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

5313/2-79

24/12-79

P3 - 12516

Ф.Бечварж, Я.Гонзатко, М.Кралик, Нгуен Данг Ньюан,
Т.Стадников, С.А.Тележников

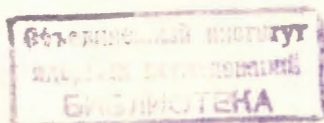
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$
НА РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНАХ

1979

РЗ - 12516

Ф.Бечварж*, Я.Гонзатко, М.Кралик, Нгуен Данг Ньюан,
Т.Стадников, С.А.Тележников

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{152}\text{Gd} (n, \gamma) ^{153}\text{Gd}$
НА РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНАХ



* ИЯФ ЧСАН, г. Ржев, ЧССР.

Изучение реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$
на резонансных нейтронах

На импульсном быстром реакторе ИБР-30 исследовалась реакция $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$. Получены спектры гамма-лучей из резонансов 12,35; 36,86; 39,3; 74,3 и 92,4 эВ ^{152}Gd . Наблюдалось 17 первичных гамма-переходов на уровни ^{153}Gd ниже 1252,7 кэВ и 77 вторичных гамма-переходов с $E_\gamma < 700$ кэВ. Определена энергия связи нейтрона в ядре ^{153}Gd , равная 6246,4 кэВ. Получена новая информация о спинах и четностях ряда уровней. Проведен статистический анализ интенсивностей первичных гамма-переходов. Достоверных нестатистических эффектов не обнаружено.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Investigation of the $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ Reaction
on Resonance Neutrons

The $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ reaction was studied on the fast pulse IBR-30 reactor. Gamma-ray spectra following the capture of neutrons in 12.35, 36.86, 39.3, 74.3 and 92.4 eV resonances were measured. Seventeen primary gamma-transitions to ^{153}Gd levels below 1252.7 keV and seventy seven secondary transitions with $E_\gamma < 700$ keV were observed. Neutron binding energy in the ^{153}Gd nucleus was found to be equal to 6246.4 keV. New information has been obtained about spin and parity for a number of levels. Statistical evaluation of primary gamma-transition intensities was carried out. No significant nonstatistical effects were found.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Возбужденные состояния ядра ^{153}Gd , находящегося между сферическими и деформированными ядрами, исследовались в ядерных реакциях с заряженными частицами: $^{152}\text{Gd}(d, p)^{153}\text{Gd}^{1/}$, $^{155}\text{Gd}(p, t)^{153}\text{Gd}^{2/}$, $^{154}\text{Gd}(d, t)^{153}\text{Gd}^{3/}$. Большое количество новых данных было получено в работах ^{4-6/} по изучению распада ^{153}Tb , где приводятся также ссылки на более ранние работы.

До настоящего времени не было работ по исследованию гамма-лучей из реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$. В этой реакции при захвате s-нейтронов первичные гамма-переходы должны преимущественно заселять низковозбужденные состояния с отрицательной четностью и с низким значением спина. На тепловых нейтронах измерение реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ практически неосуществимо из-за подавляющей конкуренции реакции (n, γ) на изотопах ^{155}Gd и ^{157}Gd , для которых эффективное сечение $\sigma(n, \gamma) = 61000$ и 254000 барн соответственно, в то время как для ^{152}Gd $\sigma(n, \gamma) 1100$ барн. Кроме того, ^{152}Gd находится в естественной смеси изотопов в количестве всего 0,2%, из-за чего нельзя получить мишень с достаточно высоким обогащением по изотопу ^{152}Gd . Поэтому была предпринята попытка получить спектры гамма-лучей из реакции (n, γ) на резонансных нейтронах, т.к. при энергии нейтронов, соответствующей резонансам в ^{152}Gd , влияние соседних изотопов Gd является несущественным.

2. ИЗМЕРЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Спектры гамма-лучей, сопровождающих захват нейтронов ядрами ^{152}Gd , измерялись на реакторе ИБР-30, работавшем в качестве бустера в сочетании с линейным ускорителем электронов ЛУЭ-40. Мишень, которая состояла из 1,482 г окиси Gd_2O_3 , обогащенной до 25,6% по изотопу ^{152}Gd , находилась в пучке нейтронов на расстоянии 50 м от активной зоны реактора. Раз-

решение по времени пролета составляло 70 нс/м. Гамма-кванты регистрировались Ge(Li) детектором с чувствительным объемом 17 см^3 и с разрешением 6,4 кэВ для энергии 7 МэВ. Применялась стабилизация электронного тракта при помощи импульсов от опорного генератора. Отдельные события в виде 12-разрядного кода энергии гамма-кванта и 12-разрядного кода времени пролета нейтрона записывались на магнитную ленту. Информация накапливалась для жестких гамма-переходов в течение 18 суток и для мягких гамма-переходов - около 50 ч. После обработки накопленной двумерной информации было получено 11 спектров гамма-лучей, соответствующих захвату или в изолированных резонансах $^{152,154,155,157}\text{Gd}$, или на участках, где имелись неразрешенные резонансы. Пять спектров принадлежат захвату нейтронов в изолированных резонансах 12,35; 36,86; 39,3; 74,3 и 92,4 эВ ядра мишени ^{152}Gd . В качестве иллюстрации на рис.1 приведена зависимость выхода гамма-

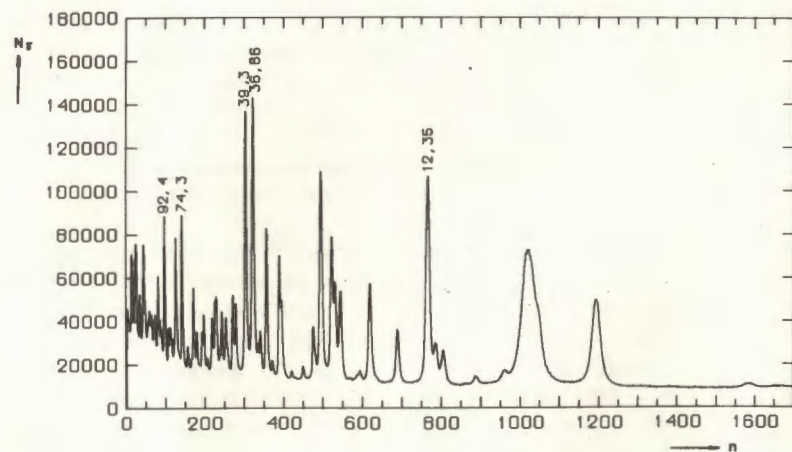


Рис.1. Зависимость отсчетов детектора γ -квантов от времени пролета нейтронов; ширина временного канала - 0,5 мс. На рисунке отмечены только резонансы ^{152}Gd , цифрами указаны энергии в эВ. Не помеченные резонансы соответствуют остальным изотопам Gd. n - номер канала; N_γ - число отсчетов в канале.

квантов от времени пролета нейтрона, на рис.2 приведен участок спектра гамма-лучей ниже 700 кэВ из резонанса 12,35 эВ, и на рис.3 - спектр жестких гамма-лучей, являющийся суммой спектров из пяти указанных резонансов в ^{152}Gd . Все спектры обрабатывались на ЭВМ CDC-6500 по программе LINFIT⁷⁷ с общим списком фиксированных значений положений пиков. В список включались только такие пики, которые в результате предварительной обработки были найдены хотя бы в одном из спектров с относительной ошибкой площади $\leq 40\%$.

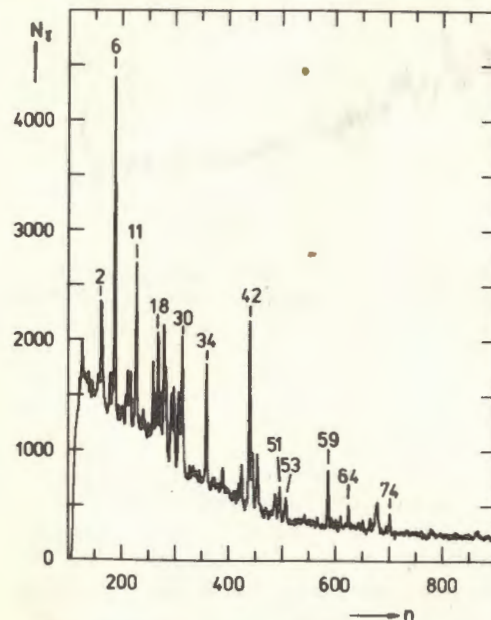


Рис.2. Амплитудный спектр мягких гамма-лучей из резонанса 12,35 эВ. Обозначены только наиболее интенсивные переходы; нумерация соответствует табл.2. n - номер канала; N_γ - число отсчетов в канале.

Для энергетической калибровки вторичных гамма-переходов использовались линии 88,96; 199,28 и 296,8 кэВ из реакции $^{155}\text{Gd}(n, \gamma)^{156}\text{Gd}$, 79,57; 182,35 и 277,0 кэВ из реакции $^{157}\text{Gd}(n, \gamma)^{158}\text{Gd}$, аннигиляционный пик и линии 596,3 и 608,6 кэВ из реакции $^{73}\text{Ge}(n, \gamma)^{74}\text{Ge}$ ⁷⁸. Энергетическая калибровка в жесткой части гамма-спектра проводилась с использованием расстояний между интенсивными линиями в спектре, соответствующими пикам с вылетом обоих аннигиляционных гамма-квантов, с вылетом одного из аннигиляционных гамма-квантов и пика полного поглощения. Абсолютизация энергетической калибровки была сделана по абсолютным значениям энергии переходов 7630,9 и 7645,3 кэВ из реакции $^{55}\text{Fe}(n, \gamma)^{56}\text{Fe}$ ⁷⁹.

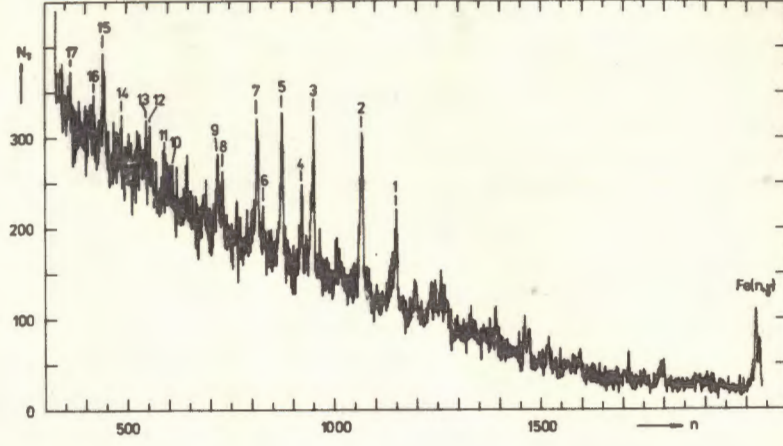


Рис.3. Суммарный спектр жестких гамма-лучей из резонансов 12,35; 36,86; 39,3; 74,3 и 92,4 эВ в реакции $^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$. Нумерация переходов соответствует табл.1. n - номер канала; N_γ - число отсчетов в канале.

Фоновые пики в спектрах жестких гамма-переходов были идентифицированы на основе пропорциональности их площадей площадям основных фоновых пиков из реакции $^{55}\text{Fe}(n,\gamma)$ и $^{28}\text{Si}(n,\gamma)$. Было найдено 17 жестких переходов, принадлежащих захвату нейтронов в ^{152}Gd . Относительные интенсивности этих переходов во всех пяти резонансах были получены путем нормировки на количество захваченных нейтронов в отдельных резонансах, которое считалось пропорциональным сумме площадей вторичных переходов: 167,1; 174,6; 206,2; 249,3; 319,7 и 327,5 кэВ. Энергии и усредненные по пяти резонансам интенсивности приводятся в табл.1 и 2 для жестких и мягких переходов соответственно. Интенсивности жестких переходов из отдельных резонансов приведены в табл.3. Поскольку не имелось возможности абсолютизации интенсивностей, в таблицах приводятся относительные величины интенсивности, нормированные на интенсивность мягкого перехода с энергией 211,9 кэВ, который использован для нормировки в работах [4-8].

Таблица 1

Значения энергии и относительных интенсивностей первичных гамма-переходов, усредненных по 5 резонансам, в реакции $^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$ и сравнение данных по значениям J^π уровней ядра ^{153}Gd , полученных в настоящей работе, с результатами других работ.

N	E_γ (кэВ)	I_γ ^{d)}	ΔI_γ	E_x (кэВ)	$^{152}\text{Gd}(4,p)^{153}\text{Gd}$		$^{152}\text{Gd}(4,n)^{153}\text{Gd}$		$^{152}\text{Gd}(4,t)^{153}\text{Gd}$		Заключение
					E_x	J^π	E_x	J^π	E_x	J^π	
1	6246,3	8,1	1,0	0,0	0,0	3/2 ⁻	0	0	0	3/2 ⁻	3/2 ⁻
2	6116,6	18,7	1,4	129,5	129,16	3/2 ⁻	0	129	1	3/2 ⁻	3/2 ⁻
3	5931,3	13,4	1,3	315,0	315,24	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	315	315	1	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
4	5885,1	10,4	1,4	361,2	361,30	3/2 ⁻ , 5/2 ⁻ а)	363	362	1	3/2 ⁻	3/2 ⁻
5	5810,0	11,9	1,3	436,3	436,33	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻ б)	435	436	(1)	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻ в)
6	5740,1	4,5	1,3	506,3	506,87	3/2 ⁻ , 5/2 ⁻	507	507	1	3/2 ⁻ , 5/2 ⁻	3/2 ⁻ , 5/2 ⁻ г)
7	5716,2	13,0	1,4	530,1	530,45	3/2 ⁻ , 5/2 ⁻	530	530	1	3/2 ⁻	3/2 ⁻
8	5582,2	11,5	1,5	664,5	664,5		678	682		1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
9	5389,7	4,2	1,4	864,1	864,1		866	867		1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
10	5361,6	4,2	1,4	884,7	884,7		889	884	1	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻ ж)
12	5301,0	6,8	1,5	945,2	945,23	3/2 ⁺	943	940		3/2 ⁺	3/2 ⁺
13	5285,1	3,6	1,4	961,2	1064,94		960	1052		5/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
14	5190,3	5,0	1,5	1056,0						1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
15	5121,6	6,3	1,6	1124,7						1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
16	5096,3	3,7	1,5	1160,0						1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻
17	4993,6	3,6	1,7	1252,7			1251	1250		1/2 ⁻ , 3/2 ⁻	1/2 ⁻ , 3/2 ⁻

а/ $\Delta E_\gamma = \pm 1$ кэВ

б/ Относительные единицы, где $I_\gamma / 211,9 \text{ кэВ} = 100$

в/ Данные из работы [4].

г/ Значение $J^\pi = 5/2^-$ исключено также на основании данных по реакции (p,t), см. работу [2].

д/ По-видимому, дублет уровней с противоположной четностью /см. обсуждение результатов/.

е/ Заключение по данным работ [5,6].

Таблица 2

Энергии и средние по пяти резонансам значения интенсивностей мягких гамма-переходов из реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$

N	E (кэВ)	ΔE (кэВ)	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}	N	E (кэВ)	ΔE (кэВ)	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}
1	83,9	0,2	23,3	2,6	41	313,8	0,1	17,4	2,6
2	88,0	0,1	126,4	3,9	42	315,1	0,1	170,8	4,4
3	89,6	0,1	90,5	1,6	43	316,7	0,1	43,1	3,3
4	101,9	0,1	36,2	1,5	44	319,7	0,1	72,9	2,2
5	104,8	0,3	14,2	0,5	45	326,1	0,1	19,9	0,6
6	109,0	0,1	267,3	4,4	46	327,5	0,1	54,0	3,9
7	125,9	0,2	15,6	0,8	47	332,1	0,3	8,2	1,7
8	128,6	0,1	35,7	1,6	48	348,6	0,2	15,3	1,8
9	132,2	0,1	37,3	1,6	49	352,9	0,1	27,7	1,8
10	139,8	0,1	24,2	1,1	50	354,7	0,1	43,5	1,9
11	141,7	0,1	III,5	2,6	51	361,1	0,1	13,2	0,0
12	145,6	0,4	I,7	0,5	52	369,0	0,2	28,6	1,8
13	152,0	0,1	17,8	1,6	53	371,0	0,1	5,6	1,4
14	159,6	0,2	I,7	0,4	54	394,4	0,4	9,6	1,1
15	163,4	0,2	2,1	0,1	55	400,2	0,2	11,2	1,0
16	167,1	0,2	45,2	1,5	56	406,3	0,3	6,8	0,5
17	170,6	0,1	72,0	2,2	57	412,8	0,3	6,4	0,4
18	174,6	0,1	72,0	2,2	58	419,9	0,1	59,7	4,4
19	176,2	0,1	15,7	0,0	59	435,6	0,1	16,3	1,1
20	178,4	0,1	37,6	1,7	60	437,1	0,2	13,3	0,9
21	181,4	0,1	18,6	1,4	61	441,6	0,2	12,6	0,8
22	183,7	0,1	94,2	2,2	62	447,8	0,2	18,5	1,8
23	186,8	0,1	11,9	0,4	63	455,0	0,1	43,8	2,2
24	188,2	0,1	8,2	1,6	64	466,7	0,1	10,8	0,7
25	193,4	0,2	2,8	0,8	65	471,6	0,3	7,2	0,0
26	195,3	0,1	45,5	1,8	66	474,4	0,6	20,8	1,4
27	197,9	0,1	23,1	1,1	67	483,1	0,2	13,2	0,6
28	206,4	0,1	58,1	1,6	68	488,6	0,1	35,6	2,2
29	208,7	0,1	33,0	1,6	69	500,2	0,1	14,8	0,8
30	211,9	0,1	100,0	0,0	70	506,4	0,2	61,5	3,9
31	213,6	0,1	25,8	1,7	71	508,6	0,1	29,9	1,6
32	229,4	0,2	7,4	0,2	72	512,5	0,1	16,2	0,3
33	239,3	0,3	7,4	0,2	73	522,0	0,1	37,1	2,3
34	249,3	0,1	107,4	2,9	74	530,1	0,1	4,6	0,3
35	250,5	0,1	15,4	1,8	75	558,0	0,4	23,9	1,6
36	261,8	0,3	10,0	1,8	76	664,5	0,1	9,2	2,1
37	274,2	0,1	28,3	1,6	77	667,8	0,3		
38	291,7	0,3	10,0	1,7					
39	299,0	0,1	19,1	1,6					
40	302,8	0,1	45,7	1,9					

а/ Интенсивности нормированы на $I_{\gamma}/211,9$ кэВ/ = 100.

3. ОБСУЖДЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Если предположить, что при захвате нейтронов ядрами ^{152}Gd отношение усредненных интенсивностей первичных E1-переходов к усредненным интенсивностям M1-переходов в районе энергии 6 МэВ будет такое же, как в других изотопах Gd и в изотопах Sm^{10/}, т.е. $\bar{I}(E1)/\bar{I}(M1) \approx 9$, можно заключить, что все наблюдаемые первичные переходы являются E1-переходами. Так как ^{152}Gd -четно-четное ядро, резонансы имеют значение $J^{\pi} = 1/2^{+}$. Таким образом, первичные E1-переходы заселяют только уровни с $J^{\pi} = 1/2^{-}$ и $3/2^{-}$. Поскольку основное состоя-

Таблица 3

Интенсивности жестких гамма-переходов из захвата нейтронов в изолированных резонансах ^{152}Gd

N	E_{γ} (кэВ)	E_x (кэВ)	12,35 эВ		36,86 эВ		39,3 эВ		74,3 эВ		92,4 эВ	
			$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}	$I_{\gamma}^{\text{a)}$	ΔI_{γ}
I	6246,3	0,0	26,9	1,8	-0,8	1,0	5,1	1,5	7,1	2,9	2,4	3,2
2	6116,8	129,5	14,9	1,7	8,5	1,6	51,4	3,1	7,7	3,4	11,3	4,4
3	5931,3	315,0	29,7	2,1	3,6	1,5	20,7	2,2	12,4	3,8	0,3	3,8
4	5885,1	361,2	10,4	1,6	-0,3	1,5	17,6	2,2	21,6	4,3	2,5	4,2
5	5810,0	436,3	44,9	2,5	3,6	1,7	-0,7	1,6	4,9	3,7	6,5	4,3
6	5740,1	506,3	2,5	1,4	6,1	1,7	0,3	1,7	5,9	3,6	7,8	4,3
7	5716,2	530,1	16,9	1,9	28,3	2,4	4,4	1,9	10,8	4,0	4,5	4,6
8	5581,8	664,5	0,9	1,5	15,3	2,1	0,9	1,9	8,9	4,4	34,1	5,5
9	5562,2	684,1	2,3	1,6	0,3	1,8	20,9	2,4	12,2	4,3	22,0	5,3
10	5389,7	866,6	6,9	1,6	1,9	1,8	-0,4	1,8	6,9	4,2	5,8	4,7
II	5361,6	884,8	-0,4	1,4	12,9	2,1	-2,8	1,8	2,2	4,0	9,3	4,9
12	5301,1	945,2	2,6	1,6	10,9	2,2	-0,6	1,9	5,4	4,2	15,8	5,1
13	5285,1	961,2	7,1	1,7	13,1	2,2	-1,9	1,8	7,0	4,2	-7,4	4,2
14	5190,3	1066,1	5,3	1,7	2,0	2,0	5,4	2,2	8,1	4,4	4,4	5,0
15	5121,6	1124,7	11,7	2,0	6,9	2,2	5,6	2,3	10,4	4,9	-3,4	5,2
16	5086,3	1160,0	1,9	1,7	11,8	2,2	-2,7	2,0	-0,3	4,2	7,7	5,2
17	4993,6	1252,7	10,7	2,0	-5,3	2,0	3,8	2,3	0,7	4,9	8,0	5,6

а/ Интенсивности переходов нормированы на $I_{\gamma}/211,9$ кэВ/=100.

ние ^{153}Gd имеет спин $J^{\pi} = 3/2^{-}$, было предположено, что самый жесткий наблюдаемый гамма-переход с энергией 6246,3 кэВ идет на основное состояние. При таком условии были рассчитаны энергии уровней ^{153}Gd , которые заселяются первичными переходами, найденными в настоящей работе. Сравнение полученных результатов с результатами других реакций и распада ^{153}Tb приводится в табл.1. Видно, что имеется очень хорошее согласие со значениями энергии возбуждения уровней, которые определены с большой точностью в распаде $^{153}\text{Tb}^{5/}$. Это доказывает справедливость предположения о том, что переход с энергией 6246,3 кэВ идет на основное состояние ^{153}Gd . На основании значений энергии для 6 самых жестких гамма-переходов и значений энергии возбуждения соответствующих нижних уровней^{5/} была рассчитана энергия связи нейтрона в ядре ^{153}Gd , которая оказалась равной $6246,4 \pm 0,4 / \pm 0,6$ кэВ, где 0,4 кэВ относится к статистической ошибке и 0,6 кэВ - к систематической ошибке энергии линий из реакции $^{55}\text{Fe}(n, \gamma)$. Значение 6246,4 кэВ для энергии связи хорошо согласуется со значением

6240 ± 10 кэВ, полученным в работе /1/ на основе величины Q реакции (d, p) и существенно отличается от значения 6487 ± 5 кэВ, приводимого в обзорах Вапстра /см., напр., /11/. Причина такого расхождения, по-видимому, состоит в том, что неверно определена полная энергия в электронном захвате ^{153}Gd /см. дискуссию в работе /12/.

Данные по жестким гамма-переходам также позволили однозначно определить спин низколежащих уровней в случаях, где по данным работы /8/ предполагалось значение $J^\pi = 3/2^-, 5/2^-$, и ограничить набор возможных значений спина для уровней 664,5; 684,1; 884,7; 1054,9 и 1124,7 кэВ /см. табл.1/. В настоящей работе четко наблюдался также первичный переход на уровень в районе 945 кэВ. В результате измерения угловой гамма-гамма корреляции в работе /8/ определено значение спина $J^\pi = 3/2^+$ для уровня 945,2 кэВ. Данные по изучению коэффициентов внутренней конверсии для переходов с уровня 945,2 кэВ на основное состояние, на уровень 41,5 кэВ / $J^\pi = 5/2^-$ / и на уровень 109,7 кэВ / $J^\pi = 5/2^-$ / достаточно надежно показывают, что это E1-переходы, и уровню 945,2 кэВ приписывается значение $J^\pi = 3/2^+$. Можно предположить, что в районе 945 кэВ имеется очень близкий дублет с противоположной четностью. Такое предположение подтверждается данными по (d, p) реакции /1/, а также наблюдением в работе /5/ перехода с энергией 496,7 кэВ, который помещен в схеме распада между уровнями 945,2 кэВ / $J^\pi = 3/2^+$ / и 448,6 кэВ / $J^\pi = 5/2^-$ /, что находилось в противоречии с наблюдаемой мультипольностью перехода 496,7 кэВ. На основе данных работ /5,6/ уровню 508,3 кэВ можно приписать $J^\pi = 3/2^-, 5/2^-$. В настоящей работе наблюдался довольно слабый переход 5740,1 кэВ. Если такой переход существует, он идет на уровень 506,3 кэВ, что плохо согласуется с энергией уровня 508,3 кэВ. Поэтому значение $5/2^-$ для уровня 508,3 кэВ исключить нельзя.

На рис.4 приводится часть схемы распада низколежащих состояний ^{153}Gd с энергией возбуждения ниже 1252,7 кэВ. Спины уровней, которые не удалось определить в настоящей работе, взяты из работы /8/. Используя данные по распаду ^{153}Tb /5/, оказалось возможным разместить в схеме распада 90% общей интенсивности мягких переходов, которые приводятся в табл.2. В случаях, когда наблюдалось несколько переходов с одного уровня, проводилось сравнение их интенсивностей с результатами работы /5/. В среднем наблюдается удовлетворительное согласие, за исключением перехода 210,4 кэВ, который в данной работе вообще не наблюдался. По данным работ /4,5/, он должен размещаться между уровнями 303,5 и 93,4 кэВ. Интенсивность перехода 210,4 кэВ, которая должна была бы на-

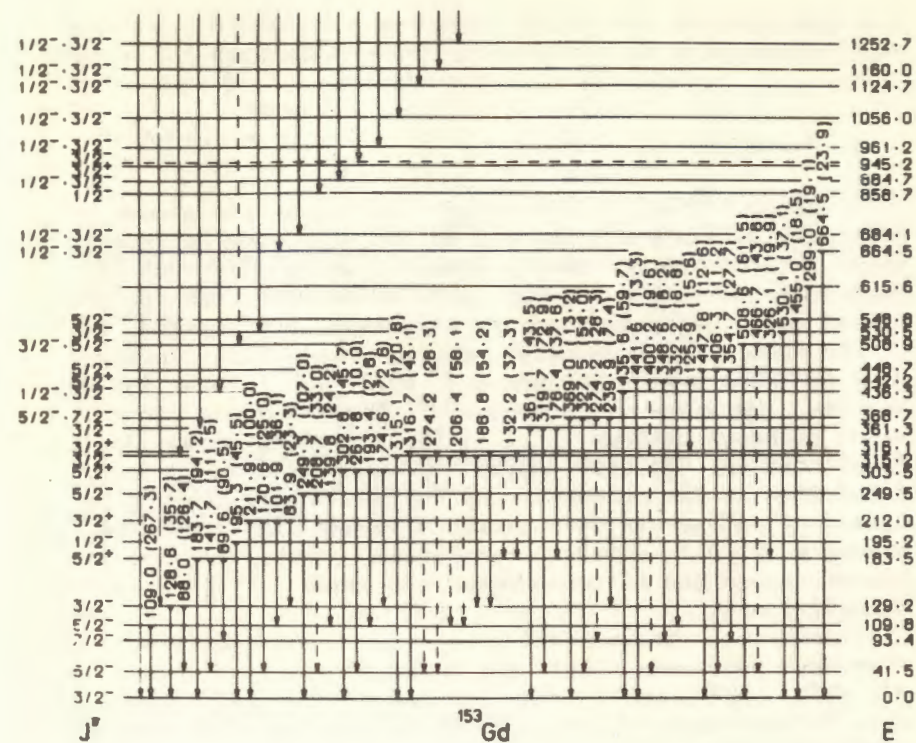


Рис.4. Фрагмент схемы распада ^{153}Gd . Показаны только те уровни и переходы, которые наблюдались в настоящей работе.

блюждаться в (d, γ) реакции, рассчитывалась на основе отношения интенсивностей переходов 303,5 и 210,4 кэВ из распада ^{153}Tb /5/. Полученное значение 81,0 является очень большим, даже сравнимым с интенсивностью перехода 212,0 кэВ. По-видимому, переход 210,4 кэВ в схеме распада /5/ размещен неправильно или вообще не принадлежит распаду ^{153}Gd .

В работе /2/ по реакции (p, t) уровень 129,5 кэВ идентифицируется как член $J^\pi = 3/2^-$ вращательной полосы, построенной над состоянием $K^\pi = 1/2^- [530]$, однако авторам работы /2/ не удалось найти само состояние $K^\pi = 1/2^- [530]$, которое должно находиться ниже энергии 129,5 кэВ. Попытка найти это состояние на основании данных, полученных в настоящей работе, также не привела к положительному результату, хотя по оцен-

кам чувствительности нашего эксперимента вероятность пропуска E1-перехода с $E_\gamma \geq 6116$ кэВ в пяти резонансах равна лишь 2,5%.

4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Согласно статистической модели, интенсивности первичных переходов должны флюктуировать по распределению Портера-Томаса $^{13/}$, т.е. по χ^2 -распределению с числом степеней свободы $\nu=1$. Поэтому интересно проанализировать свойства флюктуаций интенсивностей в случае изучаемой нами реакции.

Для набора интенсивностей, соответствующих E1-переходам из 5 резонансов на 9 уровней с $J^\pi=1/2^-$, $3/2^-$ ниже 690 кэВ, методом относительной дисперсии $^{13/}$ была получена оценка числа степеней свободы $\nu_{\text{exp}}=1,89$. Анализ по методу Монте-Карло показал, что вероятность получения такого или большего значения в рамках распределения Портера-Томаса равна 2,5%. Однако из-за недостаточности высокого уровня статистической достоверности /97,5%/ нельзя категорически утверждать, что это распределение для интенсивностей в реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ несправедливо.

Относительно большое значение ν_{exp} может быть частично объяснено пропуском небольшого числа неизвестных уровней с $J^\pi=1/2^-$, $3/2^-$, именно тех, которые слабо заселяются первичными E1-переходами из исследуемых резонансов. В самом деле, анализ чувствительности нашего эксперимента показал, что пропуск двух уровней данного типа в области ниже 690 кэВ является еще допустимым, и учет их отсутствия приводит к уменьшению ν_{exp} до 1,59.

Для проверки нестатистических теорий радиационного захвата $^{14,15/}$ интересно проанализировать возможность наличия статистических корреляций парциальных радиационных ширин. В случае N-нечетного ядра-продукта с точки зрения полумикроскопической теории $^{15/}$ особое внимание следует при этом уделять корреляциям для переходов на одноквазичастичные состояния с $K^\pi=1/2^-$ и $K^\pi=3/2^-$. С этой целью для набора имеющихся резонансов вычислялся усредненный коэффициент корреляции

$$R = \langle \rho_{\lambda f} \rangle,$$

где $\rho_{\lambda f}$ - коэффициент корреляции между парциальными радиационными ширинами $\Gamma_{\lambda \gamma f}$ и нейтронными приведенными ширинами $\Gamma_{\lambda n}^0$, индекс λ здесь обозначает резонанс и f -уровень ядра ^{153}Gd . Усреднение проводится по некоторому набору уровней. Кроме того, также вычислялся усредненный по резонансам коэффициент

$$S = \langle \rho_{\lambda} \rangle_{\lambda},$$

где ρ_{λ} - коэффициент корреляции между $\Gamma_{\lambda \gamma f}$ и сечениями $\sigma_{d,p,f}$ реакции (d,p), соответствующими протонным переходам на отдельные уровни f . При вычислении коэффициентов R и S ширины $\Gamma_{\lambda \gamma f}$ заменялись соответствующими относительными интенсивностями первичных гамма-переходов. Значения $\Gamma_{\lambda n}^0$ и $\sigma_{d,p,f}$ брались соответственно из работ $^{16,1/}$

Расчеты R и S проводились для различных наборов уровней ядра ^{153}Gd . Результаты приведены в табл.4, где также даны соответствующие значения статистической достоверности, в рамках которой можно отбросить гипотезу нулевой инстинной корреляции.

Таблица 4

Значения усредненных коэффициентов корреляции R и S для набора 5 резонансов в реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ и для 6 наборов уровней ядра ^{153}Gd .

Число уровней	R	Статистическая достоверность	S	Статистическая достоверность
17	-0,071	28,6%		
9а/	-0,160	18,8%		
4б/	-0,107	36,1%		
1в/	+0,876	98,6%		
11г/	-0,260	9,0%	0,000	51,5%
6д/	-0,371	3,1%	0,090	66,9%

а/ Все уровни с $J^\pi=1/2^-$, $3/2^-$ ниже 690 кэВ.

б/ Основное состояние $n3/2 3/2^- [521]$, уровень $n3/2 1/2^- [530]$ 129,5 кэВ, состояние $n1/2 1/2^- [521]$ 884,7 кэВ и уровень его вращательной полосы $n3/2 1/2^- [521]$ 945,2 кэВ; см. работы $^{1-3/}$.

в/ Уровень вращательной полосы $n3/2 1/2^- [521]$ 945,2 кэВ.

г/ Все уровни с $J^\pi=1/2^-$, $3/2^-$, для которых известны сечения реакции (d,p).

д/ Все уровни с $J^\pi=1/2^-$, $3/2^-$, для которых $l_n=1$; см. $^{1,2/}$.

Переходя к обсуждению результатов табл.4, следует заметить, что существующая информация о нейтронных одноквази-частичных состояниях ядра ^{153}Gd скудная - среди 17 уровней с $J^\pi = 1/2^-, 3/2^-$ только четыре приписаны таким состояниям или членам их вращательных полос, хотя по модели Нильсона этим состояниям должно принадлежать большинство уровней с $J^\pi = 1/2^-, 3/2^-$. Из результатов видно, что значения R и S во всех случаях кроме одного полностью совместимы с гипотезой нулевой истинной корреляции. Что касается уровня $\pi 3/2^- [521]$ 945,2 кэВ, значение $R=0,876$, наблюдаемое с достоверностью 98,6%, следует принимать с осторожностью, т.к. данный уровень по своей структуре никак не выделяется среди остальных 3 уровней подобного типа, для которых такого сильного эффекта нет. Таким образом, данные настоящей работы по реакции $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)^{153}\text{Gd}$ не дают положительных сведений о нестатистических эффектах, в частности, и о тех, которые ожидаются в рамках полумикроскопической теории /15/. Однако следует заметить, что из-за ограниченного числа резонансов чувствительность нашего эксперимента невелика. Ввиду этого существование глобальной истинной корреляции типа R в пределах значений $0 < R < 0,25$ или типа S в пределах значений $0 < S < 0,45$ исключить нельзя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tjøm P.O., Elbek B. Mat.Fys.Medd.Dan.Vid.Selsk., 1967, 36, p.8.
2. Løvholden G., Burke D.G., Waddington J.C. Can.J.Phys., 1973, 51, p.1369.
3. Løvholden G., Burke D.G. Can.J.Phys., 1973, 51, p.2354.
4. Tuurnala T., Siivola A., Jartii P., Liljavirta T. Z.Physik, 1974, 266, p.103.
5. Александров В.С., и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1975, 39, с.506.
6. Аликов Б.А., и др. Acta Phys.Pol., 1976, ser.B7, N1, p.59.
7. Bečvář F., Chrien R.E., Wasson O.A. Nucl.Phys., 1974, A236, p.198.
8. Marguder A.P., Smither R.K. Phys.Rev., 1969, 183, p.927.
9. Spits A.M.J., Op Den Kamp A.M.F., Gruppelaar H. Nucl.Phys., 1970, A145, p.449.
10. Buss D.J., Smither R.K. Phys.Rev., 1970, C2, p.1513.
Bollinger L.M., Thomas G.E. Phys.Rev., 1970, C2, p.1951.

11. Wapstra A.H., Bos K. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1977, 19, p.177.
12. Macdougall J.D., McLatchie W., Whineray S., Duckworth H.E. Nucl.Phys., 1970, A145, p.223.
13. Porter C.E., Thomas R.G., Phys.Rev., 1956, 104, p.483.
14. Lane A.M. Ann.Phys., 1971, 63, p.171.
15. Soloviev V.G. Phys.Lett., 1971, 34B, p.109.
Соловьев В.Г. ЭЧАЯ, 1972, 3, с.770.
16. Mughabghab S.F., Garber D.I. Neutron Cross Sections, vol.1, Resonance Parameters, 3rd edition. (Ed. National Neutron Cross Section Center), Upton, New York, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июня 1979 года