

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Б 842

P6-88-118

С.Т.Бонева, Э.В.Васильева, Ю.П.Попов,  
А.М.Суховой, В.А.Хитров, Ю.С.Язвickий

ИНТЕНСИВНЫЕ ДВУХКВАНТОВЫЕ КАСКАДЫ  
И НОВЫЕ УРОВНИ В  $^{183}\text{W}$

Направлено на Совецание по ядерной спектроскопии  
и структуре атомного ядра /Баку, 1988 г./

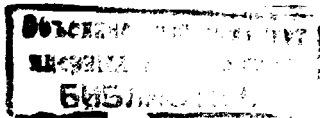
1988

Изучение особенностей двухквантовых каскадов между компаунд-состоянием тяжелого ядра и группой его низколежащих ( $E_f \leq 1 \text{ МэВ}$ ) уровней открывает широкие возможности исследования как средних параметров возбужденных состояний <sup>/1/</sup>, так и схем  $\gamma$ -распада в очень широком (см., например, <sup>/2/</sup>) диапазоне энергии возбуждения.

Настоящие измерения выполнены на пучке реактора ИБР-30, работавшего в бустерном режиме. Захват тепловых нейтронов в образце  $^{182}\text{W}$  идентифицировался по методу времени пролета. Регистрация  $\gamma$ -совпадений осуществлялась двумя  $Ge(Li)$ -детекторами. Эффективность регистрации каскада  $^{60}\text{Co}$  в суммарном пике полного поглощения 2505 кэВ составляла приблизительно  $5 \cdot 10^{-5}$  событий на распад.

Методика измерений и обработки описана ранее <sup>/3,4/</sup>. Полученный за  $\sim 200$  часов измерения спектр сумм амплитуд совпадающих импульсов (САСИ) ядра  $^{183}\text{W}$  приведен на рис.1. С помощью этого спектра <sup>/3,4/</sup> были выделены двухквантовые каскады между компаунд-состоянием и каждым из 5 низколежащих ( $E_f \leq 292 \text{ кэВ}$ ) уровней ядра  $^{183}\text{W}$ . Пример соответствующего распределения приведен на рис.2. Порог регистрации  $\gamma$ -излучения одиночным детектором был выбран равным 520 кэВ. Поэтому в эксперименте выявлены все двухквантовые каскады (с заданной суммарной энергией), энергия промежуточного уровня которых лежит в интервале

$B_n - 520 \leq E_m \leq E_f + 520 \text{ (кэВ)}$ . Значения  $J^{\pi} = \frac{1}{2}^{+}$  компаунд-состояния и  $I^{\pi} = \frac{1}{2}^{-}, \frac{3}{2}^{-}, \frac{5}{2}^{-}$  конечных уровней определяют наиболее вероятный тип  $\gamma$ -переходов в них - дипольные электрические и магнитные переходы. При этом также возможна смесь  $M1$ - и  $E2$ -переходов.



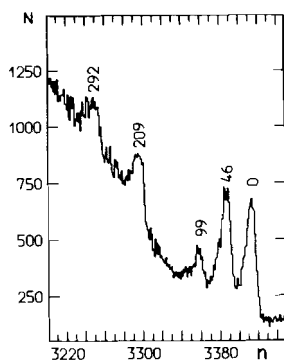


Рис.1. Спектр сумм амплитуд совпадающих импульсов для  $^{183}\text{W}$ .  
 $n$  - номер канала,  $N$  - число отсчетов. Отмечены энергии (кэВ) конечных уровней каскадов.

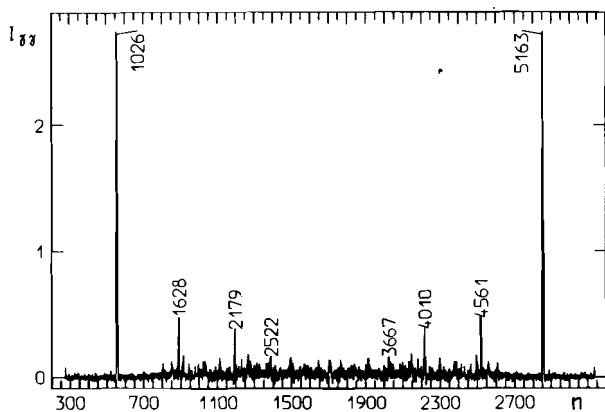


Рис.2. Распределение интенсивности  $I_{\gamma\gamma}$  двухквантовых каскадов на основное состояние  $^{183}\text{W}$ . Площадь спектра нормирована на 100. Приведены энергии (кэВ) для некоторых каскадных переходов.

Из полученных экспериментально распределений интенсивности двухквантовых каскадов выделено 150 наиболее сильных каскадов. Из них по предложенному ранее алгоритму <sup>/5/</sup> в схеме  $\gamma$ -распада  $^{183}\text{W}$  размещено 97 каскадов. Данные об энергиях  $E_1$ ,  $E_2$  каскадных переходов, энергии промежуточного уровня  $E_M$  и интенсивности  $I_{\gamma\gamma}$  каскадов (в процентах относительно суммы интенсивностей всех возможных каскадов данной суммарной энергии) приведены в таблице I.

Абсолютное значение суммы (по промежуточным состояниям  $E_M$ ) интенсивности двухквантовых каскадов  $I_{\gamma\gamma}^{\Sigma} = \sum_M I_{\gamma\gamma}$  получено путем нормировки приведенных в таблице I относительных интенсивностей некоторых сильных каскадов на значения их же абсолютной интенсивности, рассчитанной по литературным данным <sup>/6/</sup> об интенсивностях первичных переходов и коэффициентов ветвления, полученных из реакции  $^{182}\text{W}(n, 2\gamma)$  в настоящей работе.

Эта нормировка выполнена для каскадов, начинающихся первичными переходами  $E_1 = 5164, 4564, 4517$  и  $4304$  кэВ.

Результаты приведены в табл.2. Сумма интенсивностей всех двухквантовых каскадов, заканчивающихся на пяти конечных уровнях  $^{183}\text{W}$  с  $E_f \leq 292$  кэВ, составляет  $37,3 \pm 2,3\%$  на распад. При этом общая интенсивность 150 наиболее сильных каскадов (табл.1) составляет 26%, а 97 размещенных в схеме распада - 19% на распад  $^{183}\text{W}$ .

Абсолютная интенсивность (на  $10^4$  распадов) для 97 размещенных в схеме распада  $^{183}\text{W}$  каскадов приводится в табл.3.

Для сопоставления с экспериментом в табл.2 приведены также рассчитанные по статистической модели значения  $I_{\gamma\gamma}^T$  - средних интенсивностей для тех же самых каскадов. Модели, используемые в расчете, и вводимые при этом параметры описаны в <sup>/1,7/</sup>.

Таблица I

Энергии  $E_1$  и  $E_2$  каскадных переходов.  $E_M$  - энергия промежуточного уровня двухквантового каскада с интенсивностью  $i_{\gamma\gamma}$

N	$E_1$	$E_2$	$i_{\gamma\gamma}(\delta i_{\gamma\gamma})$	$E_M(\delta E_M)$
1	2	3	4	5
$E_1 + E_2 =$			6190,6	
1	5164,2	1026,4	27,8( 3)	1026,5( 5)
2	4718,9	1471,7	0,6( 2)	1470,7( 6)
3	4632,5	1558,1	0,9( 2)	1556,9(11)
4	4562,3	1628,3	4,4( 2)	1627,4(16)
5	4528,9	1661,7	0,4( 2)	1665,7(25)
6	4518,4	1672,2	1,3( 2)	1673,5(18)
7	4461,1	1729,5	0,9( 1)	1729,9( 6)
8	4370,5	1820,1	0,5( 1)	1822,4(19)
9	4349,8	1840,8	0,3( 1)	1839,6(17)
10	4304,3	1886,3	0,8( 2)	1886,2(15)
11	4250,7	1939,9	0,4( 2)	1943,9(23)
12	4161,5	2029,2	1,4( 2)	2028,5(13)
13	4092,1	2098,5	0,3( 2)	2097,4(15)
14	4064,8	2125,8	0,6( 2)	2126,6(11)
15	4011,3	2179,4	2,9( 5)	2178,6( 8)
16	3897,8	2292,8	0,5( 2)	2292,4(18)
17	3824,7	2365,9	0,5( 2)	2366,4(10)
18	3799,4	2391,2	0,7( 2)	2390,9( 7)
19	3685,4	2505,2	0,7( 2)	2505,3( 8)
20	3569,6	2621,0	0,6( 2)	2615,6(39)
21	3474,6	2716,1	1,6( 2)	2714,8(16)
22	3386,0	2804,7	0,5( 2)	2805,2(14)
23	3278,4	2912,2	0,5( 2)	2912,1(11)
24	2985,0	3205,6	1,2( 2)	3205,9(15)
25	2522,5	3668,1	1,7( 2)	3667,4(21)
26	5634,9	555,7	0,2( 1)	
27	5373,4	817,2	0,2( 1)	
28	4904,3	1286,4	0,3( 1)	

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5
29	4725,5	1464,0	0,4( 2)	
30	4401,4	1789,2	0,4( 1)	
31	4319,7	1871,0	0,9( 2)	
32	4203,4	1987,2	0,4( 2)	
33	4017,9	2172,7	2,1( 5)	
34	3950,7	2239,9	0,6( 2)	
35	3886,8	2303,8	1,5( 2)	
36	3866,0	2324,7	1,1( 2)	
37	3709,7	2480,9	0,7( 2)	
38	3638,2	2552,4	0,5( 2)	
39	3619,8	2570,6	0,9( 2)	
40	3581,2	2609,4	0,6( 2)	
41	3533,0	2657,6	0,4( 2)	
42	3489,2	2701,5	0,7( 2)	
43	3451,1	2739,5	0,5( 2)	
44	3347,0	2843,5	0,5( 2)	
45	3334,5	2856,1	0,5( 2)	
46	3308,6	2882,0	0,5( 2)	
47	3101,7	3089,1	1,1( 2)	
$E_1 + E_2 =$			6144,1	
1	5163,9	980,2	19,3( 4)	1026,5( 5)
2	4879,8	1264,3	0,3( 1)	1310,1( 8)
3	4730,3	1413,8	0,9( 2)	1461,0(21)
4	4719,9	1424,2	2,2( 2)	1470,7( 6)
5	4633,8	1510,3	1,4( 2)	1556,9(11)
6	4562,9	1581,2	2,5( 3)	1627,4(16)
7	4517,4	1626,7	6,2( 2)	1673,5(18)
8	4460,2	1683,9	2,2( 2)	1729,9( 6)
9	4379,2	1764,9	2,1( 2)	1811,9( 6)
10	4303,7	1840,4	1,5( 2)	1886,2(15)
11	4246,5	1897,6	2,3( 3)	1943,9(23)
12	4132,6	2011,5	0,6( 2)	2058,5(14)
13	4063,4	2080,2	3,5( 3)	2126,6(11)
14	4024,0	2119,6	3,0( 4)	2166,9(18)
15	4012,9	2131,2	1,6( 3)	2178,0( 8)
16	3898,5	2245,0	0,8( 4)	2292,4(18)
17	3822,9	2321,2	0,9( 3)	2366,4(10)
18	3685,6	2458,5	1,9( 4)	2505,3( 8)
19	3577,3	2566,8	2,4( 3)	2615,6(39)

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5
20	3499,2	2644,9	0,8( 3)	2690,9(12)
21	3477,7	2666,4	1,4( 3)	2714,8(16)
22	3384,5	2759,7	0,6( 3)	2805,2(14)
23	3278,5	2865,6	1,1( 3)	2912,1(11)
24	2982,5	3161,6	0,7( 3)	3205,9(15)
25	2784,4	3359,8	0,6( 3)	3404,4(19)
26	5592,2	551,9	0,2( 1)	
27	5255,8	888,4	3,5( 4)	
28	4576,6	1567,6	0,7( 3)	
29	4034,1	2110,0	1,3( 4)	
30	3982,7	2161,5	1,3( 3)	
31	3962,1	2182,0	0,8( 3)	
32	3943,8	2200,3	2,2( 4)	
33	3933,4	2210,7	0,9( 4)	
34	3908,2	2235,9	2,2( 4)	
35	3668,6	2475,5	1,8( 4)	
36	3650,8	2493,3	1,3( 4)	

$E_1 + E_2 = 6091,5$

1	5164,7	926,8	28,5( 16)	1026,5( 5)
2	4632,7	1458,8	2,1( 10)	1556,9(11)
3	4563,2	1528,3	7,1( 13)	1627,4(16)
4	4517,7	1573,8	8,4( 14)	1673,5(18)
5	4353,7	1737,9	3,1( 13)	1839,8(17)
6	4304,2	1787,4	2,7( 12)	1886,2(15)
7	3957,7	2133,8	4,2( 14)	2233,0(15)
8	3684,4	2407,2	3,9( 15)	2505,3( 8)
9	2522,8	3568,7	4,5( 16)	3667,4(21)
10	4748,6	1342,9	2,7( 10)	
11	3171,1	2920,4	4,3( 14)	
12	3075,9	3015,6	3,9( 13)	

$E_1 + E_2 = 5981,9$

1	5163,7	818,2	7,2( 5)	1026,5( 5)
2	4886,6	1101,2	1,2( 2)	1310,1( 8)
3	4730,6	1251,3	0,5( 3)	1461,0(21)
4	4720,1	1261,8	1,6( 3)	1470,7( 6)
5	4635,7	1346,1	1,1( 2)	1556,9(11)
6	4566,3	1415,6	1,0( 3)	1627,4(16)

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5
7	4523,3	1458,5	1,4( 3)	1665,7(25)
8	4513,3	1468,6	1,5( 3)	1673,5(18)
9	4378,2	1603,6	3,8( 5)	1811,9( 6)
10	4366,9	1615,0	6,8( 5)	1822,4(19)
11	4350,7	1631,2	2,1( 5)	1839,6(17)
12	4307,5	1674,3	1,1( 4)	1886,2(15)
13	4245,4	1736,1	9,9( 6)	1943,9(23)
14	4131,5	1850,3	1,0( 4)	2058,5(14)
15	4093,8	1888,0	0,9( 3)	2097,4(15)
16	4062,2	1919,6	0,7( 3)	2126,6(11)
17	4022,1	1959,8	2,4( 4)	2166,9(18)
18	4012,0	1969,2	1,1( 4)	2178,6( 8)
19	3824,9	2156,9	1,2( 4)	2366,4(10)
20	3799,9	2182,0	4,0( 5)	2390,9( 7)
21	3578,4	2403,4	0,8( 4)	2615,6(39)
22	3500,2	2481,6	1,2( 4)	2690,9(12)
23	3416,2	2565,7	1,5( 4)	2774,5(12)
24	2788,1	3193,7	0,8( 4)	3404,4(19)
25	2526,4	3455,5	0,8( 4)	3667,4(21)
26	4335,6	1146,2	0,5( 2)	
27	4291,7	1690,1	0,8( 4)	
28	4253,7	1728,3	2,3( 6)	
29	3991,4	1990,4	0,8( 3)	
30	3854,7	2127,1	0,8( 4)	
31	3740,5	2241,4	1,5( 4)	
32	3537,4	2444,5	1,1( 4)	
33	3484,4	2497,5	2,1( 4)	

$E_1 + E_2 = 5898,9$

1	4729,0	1169,9	1,6( 5)	1461,0(21)
2	4533,4	1265,5	2,2( 5)	1556,9(11)
3	4525,2	1373,7	3,8( 9)	1665,7(25)
4	4516,4	1382,1	4,3( 10)	1673,5(18)
5	4304,2	1594,7	10,1( 7)	1886,2(15)
6	4248,6	1650,3	2,0( 9)	1943,9(23)
7	4163,8	1735,1	3,0( 8)	2028,5(13)
8	4026,2	1872,7	2,7( 9)	2166,9(18)
9	3957,3	1941,6	1,8( 9)	2233,0(15)
10	3571,4	2327,5	3,1( 8)	2615,6(39)
11	3415,8	2483,0	1,8( 9)	2774,5(12)

Продолжение таблицы I

1	2	3	4	5
12	2525,8	3373,1	1,9( 8)	3667,4(21)
13	4571,6	1327,2	4,0( 7)	
14	4471,3	1427,5	3,8( 8)	
15	4211,4	1667,5	1,9( 9)	
16	3891,8	2007,0	1,9( 10)	
17	3813,7	2085,2	3,9( 10)	
18	3772,9	2126,0	4,1( 10)	
19	3757,6	2141,2	2,1( 10)	
20	3716,6	2182,3	3,3( 10)	
21	3464,9	2434,0	2,9( 9)	
22	3155,7	2743,2	2,2( 9)	

Таблица 2

Энергия  $E_K$  двухквантовых каскадов, возбуждающих конечный уровень  $E_f$  со структурой  $J^{\pi}_K [Nn_z \Lambda]$ ;  $I_{\gamma\gamma}^{\mathcal{E}}$  и  $I_{\gamma\gamma}^{\mathcal{T}}$  - экспериментальная и рассчитанные их интенсивности (% на распад)

$E_K$ кэВ	$E_f$ кэВ	$J^{\pi}_K [Nn_z \Lambda]$	$I_{\gamma\gamma}^{\mathcal{E}}$	$I_{\gamma\gamma}^{\mathcal{T}}$
6191	0	$\frac{1}{2}^{-} \frac{1}{2} [510]$	$13,3 \pm 1,1$	9,3
6144	46	$\frac{3}{2}^{-} \frac{1}{2} [510]$	$10,2 \pm 0,7$	8,7
6092	99	$\frac{5}{2}^{-} \frac{1}{2} [510]$	$1,4 \pm 0,2$	4,2
5982	209	$\frac{3}{2}^{-} \frac{3}{2} [512] + \frac{1}{2}^{-} \frac{1}{2} [510]$	$8,1 \pm 1,9$	7,2
5899	292	$\frac{5}{2}^{-} \frac{3}{2} [512]$	$4,3 \pm 0,6$	3,3
5257	934	$\frac{1}{2}^{-} \frac{1}{2} [521]$	(0,2) <sup>а)</sup>	2,4
5287	904	$\frac{5}{2}^{-} \frac{5}{2} [512]$	(0,1) <sup>а)</sup>	1,4

а) Оценено по соотношению площадей пиков в спектре САСИ.

Таблица 3

Средние значения энергии первичного перехода  $\langle E_i \rangle$  и промежуточного уровня каскада  $E_M$  с интенсивностью на  $10^4$  распадов для суммарной энергии  $\Sigma E$

$\Sigma E =$		6191	6144	6092	5982	5899
$\langle E_i \rangle$	$E_M$	$I_{\gamma\gamma}$				
5164,1	1026,5	369,9	197,3	39,9	58,2	
4880,2	1310,4		2,9		9,7	
4728,8	1461,8	4,9	8,9		4,4	7,0
4719,6	1471,0	7,6	22,0		13,0	
4633,6	1557,0	12,6	13,8	3,0	9,3	9,0
4563,7	1626,9	59,2	25,5	10,0	8,1	
4525,8	1664,8	6,0			11,5	16,3
4516,7	1673,9	17,6	63,5	11,8	12,6	18,7
4460,7	1729,9	11,4	22,0			
4378,7	1811,9		21,0		30,8	
4368,7	1821,9	6,5			52,2	
4351,4	1839,2	4,7		4,3	17,0	
4304,8	1885,8	10,5	15,0	3,8	2,9	43,3
4247,9	1942,7	6,0	23,7		20,5	8,0
4162,6	2028,0	18,6				13,1
4132,1	2058,5		5,7		7,8	
4093,0	2097,0	4,4			7,2	
4063,6	2127,0	7,6	36,2		5,4	
4024,3	2166,3		31,1		19,4	11,4
4012,3	2178,3	38,3	18,6		8,6	
3957,5	2233,1			5,9		7,9
3898,2	2292,4	7,0	8,3			
3824,2	2366,4	6,5	9,4		9,6	
3799,6	2391,0	10,0			32,2	
3685,1	2505,5	8,9	18,9	5,5		
3574,2	2616,4	7,8	24,8		6,0	13,4
3499,7	2690,9		8,4		10,0	
3476,1	2714,5	20,7	13,9			
3416,0	2774,6				12,7	7,7
3385,2	2805,4	6,4	6,2			
3278,5	2912,1	6,5	11,1			
2983,8	3206,8	16,0	7,3			
2786,3	3404,3		5,9		5,6	
2524,4	3666,2	22,6		6,3	6,5	8,0

Погрешность  $\sigma$  определения энергии каскадных переходов, приведенных в табл. I, составляет в среднем  $\approx 1,5$  кэВ. Устойчивость полученной схемы  $\gamma$ -распада к вариации этой величины была оценена математическим моделированием, аналогичным описанному в /8/. При этом установлено, что при энергии возбуждения

$E_M \lesssim 3,7$  МэВ вероятность появления в схеме  $\gamma$ -распада хотя бы одного ложного уровня не превышает 10%. Это условие было использовано при построении приведенной в табл. 3 схемы  $\gamma$ -распада  $^{183}\text{W}$ .

В предлагаемой схеме впервые определены энергии и моды  $\gamma$ -распада 15 промежуточных уровней при энергии возбуждения  $E_M > 2166$  кэВ, возбуждаемых интенсивными первичными  $\gamma$ -переходами. При энергии  $E_M < 2165$  кэВ наряду с хорошим соответствием полученных нами и литературных данных о схеме распада  $^{183}\text{W}$  выявлен и ряд расхождений.

На основе алгоритма /5/ определения вероятной очередности следования  $\gamma$ -переходов в двухквантовых каскадах впервые введены уровни  $E_M = 1462, 1664, 2028$  и  $2058$  кэВ. Интенсивность первичных переходов, возбуждающих эти уровни, варьируется в пределах  $0,13 \pm 0,34\%$  общей интенсивности первичных переходов распада компаунд-состояния  $^{183}\text{W}$ . Соответственно, значения их парциальных радиационных ширин можно оценить величиной  $\Gamma_{\lambda M} \approx 70 \pm 200$  мкэВ. Значения силовых функций  $E1$ - и  $M1$ -переходов в ядре  $^{183}\text{W}$  согласно /9/ равны  $K(E1) = 3 \cdot 10^{-9}$  МэВ<sup>-3</sup> и  $K(M1) = 3 \cdot 10^{-8}$  МэВ<sup>-3</sup> соответственно. Сопоставление  $\Gamma_{\lambda M}$  для четырех рассматриваемых уровней со средними значениями парциальных ширин переходов такой же энергии  $\langle \Gamma_{\lambda M}(E1) \rangle \approx 600$  мкэВ и  $\langle \Gamma_{\lambda M}(M1) \rangle \approx 200$  мкэВ показывает, что величина  $I^\pi$  уровней 1462, 1664, 2028 и 2058 кэВ

с большой вероятностью составляет  $\frac{1}{2}^+$  или  $\frac{3}{2}^+$ . Подтверждено существование и определены моды распада уровней с энергией возбуждения 1310, 1471, 1730, 1839 кэВ, введенных ранее только по факту наличия жесткого первичного перехода при захвате резонансных нейтронов /9,10/. Уровни с энергией возбуждения  $E_M = 1442, 1612, 1866$  и  $1983$  кэВ имеют моды распада, отличающиеся от литературных /10/.

В наших измерениях в числе двухквантовых каскадов на пять низколежащих уровней ( $E_f \leq 292$  кэВ) не наблюдались каскады через промежуточные уровни  $E_M = 1154$  и  $1651$  кэВ, проявившиеся /10/ в реакции  $(d,p)$  как состояния  $^{183}\text{W} \text{ с } \nu = 1$ . Уровень 1790 кэВ, также наблюдающийся в реакции  $^{182}\text{W} (d,p) ^{183}\text{W}$ , может быть включен в схему распада как промежуточный в каскаде с суммарной энергией 6191 кэВ.

#### Литература

1. Васильева Э.В. и др. ЯФ, 1986, т.44, с.857.
2. Бонева С.Т. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т.51, № II, с.1882.
3. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, Р15-82-706, Дубна, 1982.
4. Суховой А.М., Хитров В.А. ПТЭ, 1984, № 5, с.27.
5. Попов Д.П. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, т.48, с.891.
6. Nuclear Data Tables, 1971, v.26, p.511.
7. Бонева С.Т. и др. ОИЯИ, Р3-87-513, Дубна, 1987.
8. Бонева С.Т., Васильева Э.В., Суховой А.М. Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т.51, № II, с.2023.
9. McGullagh C.M. Theses, N.Y., 1979.
10. Nuclear Data Sheets, 1975, v.16, No.2, p.270.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 февраля 1988 года.