

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P6-86-493

С.Т.Бонева, Э.В.Васильева, Ю.П.Попов,
А.М.Сухой, В.А.Хитров, Ю.С.Язвический

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ^{179}Hf
С ПОМОЩЬЮ ДВУХКВАНТОВЫХ γ -КАСКАДОВ

Направлено в журнал "Известия АН СССР",
серия физическая

1986

В ЛНФ ОИАИ проводятся систематические исследования двухквантовых каскадов, возбуждаемых при захвате тепловых нейтронов ядрами редкоземельной области $^{145-157}$. В данной работе приводится схема уровней компаунд-ядра ^{179}Hf , возбуждаемых наиболее интенсивными каскадами такого типа.

Измерения выполнены на пучке реактора ИБР-30 с образцом из окиси гафния, обогащенной по изотопу ^{178}Hf до 92,2%. Захват тепловых нейтронов идентифицировался по методу времени пролета нейтронов. Для регистрации $(\gamma-\gamma)$ -совпадений использовался спектрометр на двух Ge(Li) -детекторах объемом $100+140 \text{ см}^3$ (с эффективностью регистрации γ -квантов ^{60}Co $\epsilon \approx 10\%$ относительно эффективности кристалла NaI(Tl)) с размерами $76,2 \times 76,2 \text{ мм}$. Порог регистрации составлял 520 кэВ, разрешение по линии ^{60}Co - около 3,5 кэВ.

Методика измерений и обработки результатов эксперимента подробно описана в работах $^{16,7)}$ и заключалась в построении из записанных на магнитную ленту кодов $(\gamma-\gamma)$ -совпадений спектра сумм амплитуд совпадающих импульсов (САСИ). Этот спектр, накопленный за 230 часов измерения, приведен на рис.1. На основе спектра САСИ строились распределения интенсивностей двухквантовых каскадов с заданной суммарной энергией. При этом использовался тот факт, что в спектре САСИ пик обусловлен регистрацией всей энергии двухквантового каскада; это позволяет отобрать из массы $(\gamma-\gamma)$ -совпадений только случаи регистрации γ -квантов в пиках полного поглощения, исключив основную часть фоновых совпадений и случаев неполного поглощения энергии γ -перехода. Пример подобного распределения приведен на рис.2.

Всего было получено 10 распределений интенсивностей двухквантовых каскадов между компаунд-состоянием ^{179}Hf и одним из его низлежащих уровней. Энергия возбуждения последних не превышает 800 кэВ.

Следует отметить, что, как и во всех ранее исследованных ядрах, в ^{179}Hf не наблюдаются двухквантовые каскады, связанные с изменением спина их конечного уровня ($I_f < \frac{7}{2}$) относительно спина исходного ($I = \frac{1}{2}$) более чем на 3 единицы.

Этот факт свидетельствует о том, что основную роль в распаде компаунд-состояния играют дипольные электрические и магнитные переходы. Интенсивности каскадов, один из квантов которых должен быть чистым квадрупольным ($\Delta I = 3$), при этом в среднем на порядок меньше интенсивностей каскадов дипольного типа.

В распределениях интенсивностей двухквантовых каскадов с заданной суммарной энергией имеются пики, связанные с регистрацией небольшого числа интенсивных каскадов, и непрерывная часть, обусловленная регистрацией большого числа каскадов малой интенсивности. Каждый

каскад изображается в спектрах типа приведенного на рис.2 только парой пиков полного поглощения γ/γ .

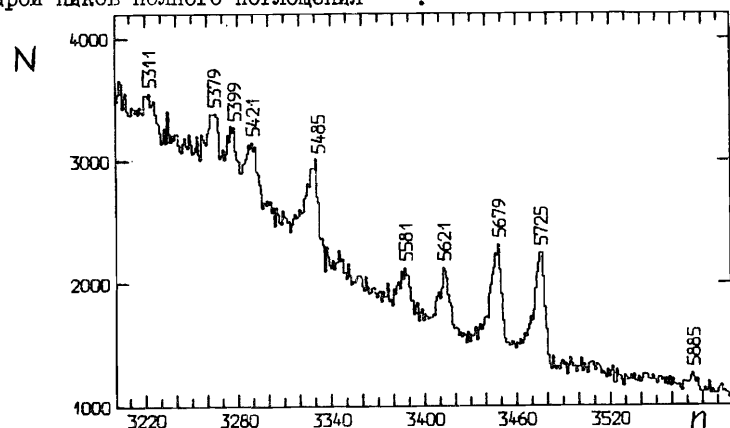


Рис.1. Спектр сумм амплитуд совпадающих импульсов из реакции $^{178}\text{Hf}(n, 2\gamma)$. n - номер канала, N - число отсчетов. Цифры над пиками - энергия каскадов, кэВ.

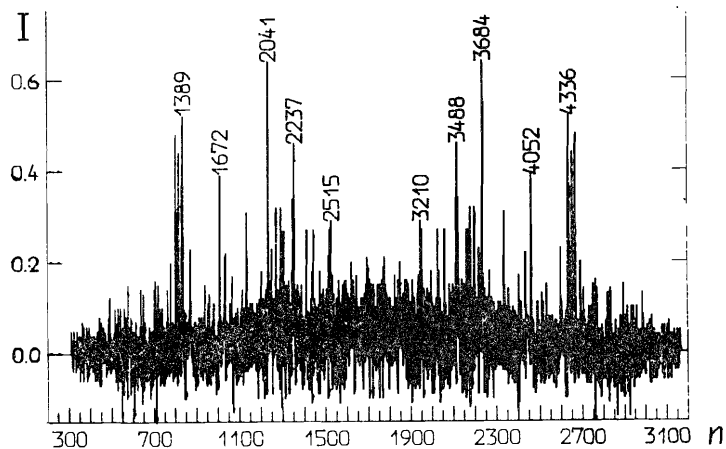


Рис.2. Распределение интенсивности двухквантовых каскадов с суммарной энергией 5724 кэВ. I - интенсивность каскадов, n - номер канала спектра, цифры - энергия (кэВ) каскадных переходов. Площадь спектра нормирована на 100.

Энергии γ -переходов и интенсивности наиболее интенсивных из наблюдаемых каскадов с разными суммарными энергиями приведены

Таблица I

Энергии E_1 и E_2 каскадных γ -квантов, их относительная интенсивность $I_{\gamma\gamma} \pm \delta I_{\gamma\gamma}$ (процентов от общей интенсивности двухквантовых каскадов с заданной суммарной энергией) и энергия промежуточных уровней $E_M \pm \delta E_M$

N	E_1	E_2	$I_{\gamma\gamma}$	$\delta I_{\gamma\gamma}$	E_M	δE_M
1	2	3	4	5	6	7
					$E_1+E_2= 5885,7$	
1	4343,9	1542,7	6,60	1,61	1757,5	1,1
2	3850,6	2036,1	13,29	1,79	2250,7	0,9
3	3651,9	2234,7	3,45	1,82	2452,1	2,3
4	3621,8	2264,7	2,95	1,66	2476,6	1,2
5	4700,5	1184,5	3,03	1,43		
6	4492,6	1392,2	2,40	1,38		
7	4484,5	1400,4	2,94	1,38		
8	4169,8	1715,2	2,25	1,46		
9	3035,7	2849,2	5,02	2,08		

$E_1+E_2= 5724,6$

1	4911,3	813,4	0,57	0,13	1189,2	0,4
2	4527,0	1197,7	0,75	0,25	1572,7	1,7
3	4391,9	1332,8	2,78	0,25	1707,5	0,5
4	4373,0	1351,7	2,01	0,31	1727,4	1,0
5	4367,8	1356,9	2,24	0,31	1732,3	0,0
6	4343,0	1381,7	2,84	0,24	1757,5	1,1
7	4336,0	1388,7	4,12	0,24	1763,9	0,3
8	4286,0	1438,7	0,47	0,23	1812,8	1,5
9	4278,8	1445,9	1,26	0,23	1821,4	0,1
10	4052,2	1672,5	2,54	0,27	2047,9	0,0
11	4027,9	1696,7	0,64	0,27	2071,8	0,3
12	4010,7	1713,9	1,10	0,33	2089,5	0,1
13	3882,4	1842,2	0,70	0,26	2216,7	1,0
14	3848,7	1876,0	1,70	0,27	2250,7	0,9
15	3735,0	1989,7	1,27	0,27	2367,0	1,8
16	3683,7	2041,0	5,10	0,36	2415,5	1,7
17	3637,8	2086,9	0,90	0,37	2461,4	0,9
18	3623,9	2100,8	2,88	0,36	2476,6	1,2
19	3591,4	2133,3	2,14	0,34	2510,6	1,5
20	3575,3	2149,4	1,96	0,33	2523,8	1,0
21	3499,2	2225,4	2,42	0,35	2602,3	1,3
22	3487,6	2237,1	3,39	0,34	2611,7	0,4
23	3460,5	2264,2	0,85	0,32	2639,4	0,3
24	3396,6	2328,1	1,37	0,34	2704,0	0,5
25	3193,2	2531,5	1,11	0,39	2906,0	1,3
26	2973,4	2751,2	0,91	0,30	3348,8	0,0
27	3035,1	2689,5	0,59	0,29	3410,5	0,1
28	4981,9	742,6	0,36	0,13		
29	4642,2	1082,3	0,70	0,22		
30	4558,4	1166,2	0,56	0,23		
31	4430,6	1293,9	0,93	0,24		
32	4141,7	1582,9	0,53	0,29		
33	4098,0	1626,4	0,72	0,27		
34	4016,6	1707,8	0,79	0,33		

(Продолжение табл. I)

1	2	3	4	5	6	7
35	3657,8	2066,7	1,09	0,39		
36	3563,0	2161,5	1,23	0,33		
37	3451,2	2273,4	0,56	0,32		
38	3220,9	2503,6	1,64	0,42		
39	3210,0	2514,5	2,26	0,41		
40	3052,6	2671,9	0,64	0,29		
41	3010,9	2713,7	0,60	0,29		
			$E_1+E_2=$ 5678,9			
1	4910,5	767,8	0,52	0,14	1189,2	0,4
2	4393,1	1286,8	0,45	0,23	1707,5	0,5
3	4373,5	1306,4	0,73	0,23	1727,4	1,0
4	4343,3	1336,7	5,01	0,55	1757,5	1,1
5	4336,5	1343,4	2,60	0,53	1763,9	0,3
6	4052,1	1627,7	1,83	0,24	2047,9	0,0
7	4028,6	1651,2	0,76	0,24	2071,8	0,3
8	3948,5	1731,3	0,90	0,27	2151,4	0,4
9	3870,8	1809,0	1,31	0,28	2229,3	0,4
10	3845,3	1834,5	0,70	0,28	2255,3	0,5
11	3789,9	1889,9	0,63	0,25	2310,3	0,1
12	3733,4	1946,4	0,97	0,27	2367,0	1,8
13	3704,9	1974,9	2,53	0,31	2395,3	0,4
14	3683,8	1996,0	1,69	0,30	2415,5	1,7
15	3647,6	2032,1	1,81	0,35	2452,1	2,3
16	3639,6	2040,1	1,15	0,36	2461,4	0,9
17	3624,8	2055,0	3,10	0,44	2476,6	1,2
18	3587,8	2091,9	1,74	0,38	2510,6	1,5
19	3576,1	2103,6	1,03	0,37	2523,8	1,0
20	3498,0	2181,7	2,11	0,38	2602,3	1,3
21	3355,3	2324,3	0,98	0,35	2743,9	0,7
22	3308,5	2371,2	0,67	0,34	2790,6	1,0
23	3195,4	2484,2	0,96	0,34	2906,0	1,3
24	2925,7	2753,8	1,03	0,41	3346,3	0,0
25	4313,6	1363,5	0,93	0,24		
26	4290,2	1386,9	0,72	0,26		
27	4015,9	1661,1	1,54	0,24		
28	4005,6	1671,5	1,91	0,24		
29	3831,6	1845,4	1,33	0,27		
30	3743,3	1933,8	0,44	0,28		
31	3611,9	2065,2	2,29	0,42		
32	3599,3	2077,8	2,55	0,40		
33	3487,2	2189,8	0,93	0,39		
34	3345,6	2331,4	1,26	0,36		
35	3118,5	2558,6	1,91	0,37		
			$E_1+E_2=$ 5620,8			
1	4615,5	1004,8	0,77	0,29	1483,1	1,4
2	4524,5	1095,9	1,19	0,38	1572,7	1,7
3	4340,9	1279,4	6,94	0,40	1757,5	1,1
4	3948,4	1672,0	2,07	0,55	2151,4	0,4
5	3730,5	1889,8	9,18	0,55	2367,0	1,8
6	3682,1	1938,3	2,16	0,59	2415,5	1,7
7	3577,6	2042,8	2,97	0,58	2523,8	1,0
8	3496,0	2124,3	1,37	0,51	2602,3	1,3
9	3448,2	2169,9	1,76	0,41	2655,0	2,4
10	3310,5	2309,9	1,84	0,60	2790,6	1,0
11	3115,4	2505,0	2,13	0,47	2984,4	0,3

(Продолжение табл. I)

1	2	3	4	5	6	7
12	2918,8	2701,7	1,28	0,57	3180,7	0,6
13	4429,0	1192,5	0,68	0,38		
14	4332,8	1288,6	1,35	0,41		
15	4284,2	1337,2	2,30	0,42		
16	4016,1	1605,3	3,29	0,54		
17	4003,5	1617,9	2,16	0,54		
18	3442,7	2180,3	2,31	0,82		
19	3283,0	2338,3	1,65	0,64		
20	3132,4	2489,0	2,34	0,48		
21	3101,5	2519,9	1,87	0,47		
22	2845,4	2775,1	1,24	0,55		
			$E_1+E_2=$ 5581,5			
1	4527,8	1054,1	3,04	0,49	1572,7	1,7
2	4391,9	1190,1	9,60	0,74	1707,5	0,5
3	4371,3	1210,6	4,52	0,76	1727,4	1,0
4	4341,9	1240,0	8,50	0,71	1757,5	1,1
5	4285,7	1296,2	1,35	0,67	1812,8	1,5
6	3844,3	1737,6	2,92	0,83	2255,3	0,5
7	3731,4	1850,5	2,39	0,86	2367,0	1,8
8	3488,5	2093,3	2,61	0,86	2611,7	0,4
9	3442,2	2139,6	2,01	0,83	2655,0	2,4
10	3395,6	2186,2	3,24	0,85	2704,0	0,5
11	3024,6	2557,2	4,60	0,92	3078,3	2,5
12	4544,5	1035,9	1,34	0,49		
13	4334,3	1246,2	5,92	0,70		
14	3932,5	1648,1	3,00	0,77		
15	3380,3	2200,1	2,00	0,87		
			$E_1+E_2=$ 5485,2			
1	4393,1	1093,4	1,62	0,40	1707,5	0,5
2	4373,2	1113,4	6,98	0,42	1727,4	1,0
3	4343,7	1142,8	10,47	1,70	1757,5	1,1
4	4287,0	1199,5	2,70	0,31	1812,8	1,5
5	4152,1	1334,3	1,64	0,40	1947,7	0,2
6	4028,2	1458,3	1,13	0,39	2071,8	0,3
7	3952,6	1533,9	1,04	0,30	2147,2	0,3
8	3884,4	1602,0	0,95	0,33	2216,7	1,0
9	3735,7	1750,7	1,23	0,42	2367,0	1,8
10	3685,8	1800,6	2,26	0,50	2415,5	1,7
11	3675,1	1811,3	1,10	0,48	2426,4	1,4
12	3646,9	1839,5	2,02	0,46	2452,1	2,3
13	3624,7	1861,7	1,88	0,45	2476,6	1,2
14	3488,8	1997,5	1,18	0,49	2611,7	0,4
15	3357,0	2129,3	1,06	0,44	2743,9	0,7
16	3022,4	2463,8	0,81	0,42	3078,3	2,5
17	2948,6	2537,6	1,46	0,59	3150,2	1,3
18	4913,6	570,3	0,58	0,15		
19	4571,6	912,3	0,50	0,22		
20	4366,0	1117,9	5,01	0,42		
21	4339,6	1144,4	5,31	1,83		
22	4100,4	1383,4	1,20	0,38		
23	3786,7	1697,2	1,14	0,37		
24	3777,5	1706,4	0,84	0,37		
25	3750,8	1733,0	1,05	0,37		
26	3727,8	1756,1	0,97	0,42		
27	3663,1	1820,8	1,31	0,48		

(Продолжение табл. I)

1	2	3	4	5	6	7
28	3593,0	1890,9	1,52	0,46		
29	3443,1	2040,7	1,72	0,47		
30	3112,8	2371,0	1,68	0,40		
31	3080,3	2403,5	1,37	0,40		
32	2882,3	2601,6	2,61	0,61		
$E_1 + E_2 = 5420,7$						
1	4529,5	892,3	0,68	0,40	1572,7	1,7
2	4392,7	1029,1	2,34	0,56	1707,5	0,5
3	4373,7	1048,0	4,49	0,58	1727,4	1,0
4	4367,8	1054,0	4,01	0,58	1732,3	0,0
5	4341,9	1079,8	5,48	0,56	1757,5	1,1
6	4188,0	1233,7	2,90	0,63	1913,0	1,0
7	4152,6	1269,1	3,16	0,61	1947,7	0,2
8	4010,5	1411,2	1,95	0,76	2089,5	0,1
9	3916,8	1504,8	1,30	0,52	2184,2	1,0
10	3871,3	1550,3	1,92	0,51	2229,3	0,4
11	3733,8	1687,8	2,29	0,58	2367,0	1,8
12	3704,3	1717,3	2,09	0,62	2395,3	0,4
13	3645,6	1775,9	1,84	0,66	2452,1	2,3
14	3589,2	1832,4	2,66	0,64	2510,6	1,5
15	3192,0	2229,5	1,93	0,72	2906,0	1,3
16	3116,0	2305,5	1,66	0,70	2984,4	0,3
17	3018,5	2402,9	1,83	0,84	3078,3	2,5
18	2751,3	2670,0	2,16	0,85	3348,8	0,0
19	2731,6	2689,7	3,02	0,91	3410,5	0,1
20	4562,2	856,1	0,79	0,43		
21	4519,5	898,9	0,67	0,40		
22	4014,6	1403,5	2,13	0,78		
23	3981,9	1436,5	2,30	0,61		
24	3829,8	1588,5	1,66	0,52		
25	3747,1	1671,3	1,30	0,59		
26	3558,2	1860,2	2,05	0,65		
$E_1 + E_2 = 5399,6$						
1	4373,2	1028,2	8,23	1,10	1727,4	1,0
2	4344,0	1057,4	31,04	1,10	1757,5	1,1
3	4336,6	1064,8	9,63	1,11	1763,9	0,3
4	4287,7	1113,6	6,90	1,14	1812,8	1,5
5	4278,6	1122,8	2,01	1,14	1821,4	0,1
6	4046,2	1355,1	2,42	1,10	2053,2	0,8
7	3953,2	1448,1	2,17	0,90	2147,2	0,3
8	3687,5	1713,7	3,84	1,24	2415,5	1,7
9	3672,2	1728,9	3,72	1,20	2426,4	1,4
10	3622,2	1779,0	3,46	1,14	2476,6	1,2
11	3356,3	2044,8	3,82	1,37	2743,9	0,7
12	2951,3	2449,6	2,95	1,33	3150,2	1,3
13	2753,8	2647,0	4,06	1,47	3346,3	0,0
14	4610,0	787,2	1,08	0,61		
15	4588,3	808,8	1,93	0,60		
16	4547,2	849,9	1,43	0,58		
17	4063,0	1334,1	3,55	1,11		
18	4013,8	1383,6	2,29	1,14		
19	4005,8	1391,4	3,40	1,16		
20	3924,6	1472,5	2,64	0,88		
21	3169,5	2227,8	3,81	1,15		
22	3158,3	2238,9	2,92	1,14		

(Продолжение табл. I)

$E_1 + E_2 = 5379,2$						
1	2	3	4	5	6	7
1	4618,4	761,1	1,14	0,49	1483,1	1,4
2	4393,0	986,4	10,01	1,24	1707,5	0,5
3	4373,4	1006,0	9,15	1,06	1727,4	1,0
4	4341,1	1038,3	4,99	1,31	1757,5	1,1
5	4335,7	1043,7	7,74	1,30	1763,9	0,3
6	4186,1	1193,3	6,94	1,07	1913,0	1,0
7	4046,5	1332,9	3,00	1,02	2053,2	0,8
8	4028,5	1350,9	3,54	0,99	2071,8	0,3
9	3949,2	1430,2	2,00	0,95	2151,4	0,4
10	3914,9	1464,6	2,22	0,99	2184,2	1,0
11	3870,3	1509,1	5,44	1,01	2229,3	0,4
12	3849,8	1529,6	3,26	0,98	2250,7	0,9
13	3789,7	1589,7	3,05	0,94	2310,3	0,1
14	3731,6	1647,8	4,54	1,16	2367,0	1,8
15	3461,0	1918,4	2,80	1,31	2639,4	0,3
16	3444,7	1934,7	2,03	1,34	2655,0	2,4
17	3194,7	2184,7	2,76	1,17	2906,0	1,3
18	2920,0	2459,4	2,81	1,15	3180,7	0,6
19	4147,6	1227,6	2,27	1,19		
20	3431,8	1947,3	2,81	1,37		
21	3057,9	2321,2	2,43	1,16		
$E_1 + E_2 = 5311,4$						
1	4528,3	782,8	1,33	0,59	1572,7	1,7
2	4370,7	940,4	6,44	1,08	1727,4	1,0
3	4342,2	968,9	7,13	1,15	1757,5	1,1
4	4336,2	974,9	6,71	1,16	1763,9	0,3
5	4289,9	1021,2	2,86	1,00	1812,8	1,5
6	4048,1	1263,0	2,40	1,23	2053,2	0,8
7	3848,5	1462,7	4,25	1,19	2250,7	0,9
8	3705,2	1606,0	3,31	1,13	2395,3	0,4
9	3684,9	1626,3	2,88	1,13	2415,5	1,7
10	4296,9	1015,1	1,91	1,00		
11	3979,1	1332,9	5,02	1,23		
12	3445,9	1866,1	3,11	1,33		
13	2803,4	2508,5	5,60	1,38		

в табл. I. Совместный анализ совокупности наблюдаемых каскадов позволяет в подавляющем большинстве случаев определить очередность следования квантов в каскадах. Исходная предпосылка /I/ такого анализа состоит в том, что γ -переходы одинаковой энергии, входящие в состав каскадов с разной суммарной энергией, являются первичными.

Данные о каскадах, размещенных в схеме распада ^{179}Hf , сведены в табл. 2. Всего из 236 каскадов в схеме распада по предложенному алгоритму /I/ размещено 158 каскадов. Оставшиеся каскады могут быть размещены в схеме распада в соответствии с предположением, что первичным переходом является переход большей энергии.

Таблица 2

Среднее значение энергии первичного перехода E_1 , энергии промежуточного уровня E_M и интенсивность $I_{\gamma\gamma}$ каскадов с заданной суммарной энергией $E_1 + E_2$ (на 10^4 распадов компаунд-состояния)

E_1	E_M	$I_{\gamma\gamma}$																			
		5886	5725	5679	5624	5581	5485	5420	5400	5379	5314										
4910,9	1189,2		8,8	8,6																	
4617,0	1483,1				6,0																
4527,4	1572,7		11,6		9,3	12,2															3,6
4392,6	1707,5		43,1	7,4		38,4	15,4	2,6													
4372,7	1727,4		31,2	12,0		18,1	66,3	17,1	21,4												31,0
4367,8	1732,3		34,7					15,2													28,4
4342,6	1757,5	13,9	44,0	82,7	54,1	34,0	99,5	20,8	80,7	15,5											17,4
4336,2	1763,9		63,9	42,9					25,0	24,0											19,3
4287,3	1812,8		7,3			5,4	25,6		17,9												18,1
4278,7	1821,4		19,5						5,2												7,7
4487,1	1943,0																				
4452,4	1947,7							11,0													
4052,2	2047,9		39,4	30,2				12,0													
4046,9	2053,2																				
4028,3	2071,8		9,9	12,5					6,3	9,3											6,5
4010,6	2089,5		17,1						7,4	11,0											
3952,9	2147,2								9,9	5,6											
3948,7	2151,4			14,8	16,1																
3915,9	2184,2								4,9	6,2											
3883,4	2216,7		10,8						9,0	6,9											
3870,8	2229,3			21,6					7,3	16,9											
3849,4	2250,7	27,9	26,4							10,1											11,5
3844,8	2255,3			11,6		11,7															
3789,8	2310,3			10,4																	
3733,1	2367,0		19,7		71,6	9,6	11,7	8,7													
3704,8	2395,3			16,0				7,9													
3684,6	2415,5		79,0	41,7	16,8																8,9
3673,7	2426,4			27,9					10,0												7,8
3648,0	2452,1	7,2		10,4					9,7												
3638,7	2461,4		7,2	29,9					7,0												
3623,5	2476,6		6,2	19,0																	
3589,5	2510,6			44,6					17,9	9,0											
3576,3	2523,8			51,1																	
3497,8	2602,3			33,2																	
3488,4	2611,7			28,7																	
3460,7	2639,4			30,4																	
3445,1	2655,0			37,5																	
3396,1	2704,0			34,8																	
3356,2	2743,9			10,7																	
3309,5	2790,6			23,2																	
3194,1	2906,0			10,7																	
3115,7	2984,4			14,4																	
3021,8	3078,3			11,1																	
2949,9	3150,2			15,8																	
2919,4	3180,7			16,6																	
2753,8	3346,3			18,4																	
2751,3	3348,8			7,7																	
2689,6	3410,5			13,9																	
				10,0																	
				10,0																	
				8,2																	
				11,5																	

В табл.2 указаны энергии E_1 первичных переходов каскадов, энергия возбуждаемого уровня E_M , вычисленная по соотношению $E_M = E_n - E_1$, где принято значение энергии связи $E_n = 6100,1$ кэВ. Спины и четности этих уровней в предположении, что первичный переход каскада является $E1$ -переходом, могут иметь значения $I^\pi = \frac{1}{2}^-$ или $\frac{3}{2}^-$. В этом случае тип вторичного перехода - $M1$, $E2$ или смесь $M1 + E2$ определяется значением $I^\pi = \frac{1}{2}^- + \frac{7}{2}^-$ конечного уровня двухквантового каскада. Для уровней $E_M = 1757, 2251, 2452$ и 2476 кэВ значение спина ($I^\pi = \frac{3}{2}^-$) может быть приписано с высокой степенью вероятности, поскольку значение $I^\pi = \frac{1}{2}^-$ требует, чтобы вторичный переход с этого уровня на конечный уровень 214 кэВ ($I^\pi = \frac{7}{2}^-$) имел тип $M3$ или $E3$.

Из этой же таблицы видно, что каскады с суммарной энергией $5621, 5581, 5400$ и 5312 кэВ имеют интенсивность, близкую к интенсивности прочих каскадов. Так как отмеченные каскады связывают состояния $\frac{1}{2}^-$ и $\frac{5}{2}^-$, а все остальные - состояния $\frac{1}{2}^-$ и $\frac{1}{2}^- + \frac{3}{2}^-$, то можно сделать заключение, что наиболее вероятное значение спина промежуточных уровней каскадов с суммарной энергией $5621, 5581, 5400, 5312$ кэВ равно $\frac{3}{2}^-$. Только в этом случае тип вторичных переходов для каскадов, заканчивающихся уровнями $\frac{1}{2}^-$, $\frac{3}{2}^-$ и $\frac{5}{2}^-$, может быть одинаковым, что обеспечивает одинаковое значение интенсивности двухквантовых каскадов.

В табл.3 сопоставляются наши данные об уровнях ^{179}Hf с данными других авторов. Для энергий возбуждения $E_M > 2182$ кэВ данные об уровнях этого ядра получены впервые. В интервале $1186-2182$ кэВ результаты в целом согласуются, хотя несколько уровней, наблюдавшихся другими авторами, в нашем эксперименте не проявились. Это связано с их малой интенсивностью, оказавшейся ниже порога чувствительности, с которым выделялись интенсивные каскады (табл.1).

В то же время два уровня ($E_M = 1732$ и 2072 кэВ) ранее не наблюдались. Возможность их выделения обусловлена тем, что:

- а) в используемой нами методике соотношение площадей комптоновской подложки и пиков полного поглощения наиболее благоприятное среди всех известных методов исследования γ -распада;
- б) использован метод улучшения разрешения 17 без потери эффективности регистрации совпадений.

В 3-12 колонках табл.2 приведена абсолютная интенсивность каскадов в числе соответствующих случаев, отнесенных к 10000 распадов компаунд-состояния.

Соответствующие значения были получены на основе известных 12 значений интенсивностей жестких первичных переходов с энергиями $4373, 4343, 3733$ и 3626 кэВ и схем распада соответствующих уровней, приведенных в табл.1. Соотношение интенсивностей вторичных γ -переходов при этом определялось на основе соотношений площадей соответствую-

иных пиков в спектрах γ -квантов, совпадающих с указанными жесткими первичными переходами.

Таблица 3

Сопоставление энергий уровней ^{179}Hf , определенных разными авторами, при энергии возбуждения $E_f < 2184$ кэВ

18/	19/	110/	111/	Данная работа
1185	1186	-	-	1189
1250	1250	-	1249	-
1269	1270	-	1270	-
1296	1296	1296	-	-
1432	1433	1433	1434	-
-	1482	-	1482	1483
1534	-	-	1532	(1534)
1572	-	1572	1574	1573
1666	-	1667	1670	(1670)
1706	-	1706	1707	1707
1726	-	1727	1727	1727
-	-	-	-	1732
1756	1756	1755	1756	1757
1763	-	1764	1763	1764
1783	-	1783	-	-
-	-	-	1812	1813
1821	-	1821	1821	1821
1847	-	1847	1849	-
1863	-	-	1862	-
1913	-	1914	1915	1913
1930	-	1930	1930	-
-	-	-	1948	1948
-	-	-	1959	(1959)
-	-	-	2003	(2001)
2043	-	2043	2043	2048
2050	-	2050	-	2053
-	-	-	-	2078
2082	-	2083	-	(2084)
2093	-	2092	-	2090
2142	-	2142	-	2147
-	-	-	-	2151
2168	-	2168	-	(2167)
2183	-	2183	-	2184

Таблица 4

Суммарная энергия каскадов ΣE_γ , энергия E_f /8/ конечного уровня каскадов, его квантовые характеристики и абсолютный выход $I_{\gamma\gamma}$ двухквантовых каскадов (процентов на распад компаунд-состояния)

ΣE_γ	E_f	K^π	$J(N\pi)$	$I_{\gamma\gamma}$
5885,6	214,4	7/2 ⁻	7/2(514)	2,1 [±] 0,9
5724,6	374,8	1/2 ⁻	1/2(510)	15,5 [±] 1,6
5677,8	420,7	3/2 ⁻	1/2(510)	16,5 [±] 2,1
5622,2	476,1	5/2 ⁻	1/2(510)	7,6 [±] 0,6
5580,9	518,4	5/2 ⁻	5/2(512)	4,0 [±] 0,8
5484,5	614,2	1/2 ⁻	1/2(521)	9,5 [±] 1,6
5419,4	679,3	3/2 ⁻	1/2(521)	3,8 [±] 0,8
5398,3	701,1	5/2 ⁻	1/2(521)	2,6 [±] 0,5
5379,0	720,7	3/2 ⁻	3/2(512)	3,1 [±] 0,7
5311,7	788,2	5/2 ⁻	3/2(512)	2,7 [±] 0,8

Суммы интенсивностей всех возможных двухквантовых каскадов, определяющих значения площадей пиков в спектре САСИ (рис.1) приведены в табл.4. Видно, что двухквантовые каскады на десять низлежащих уровней ^{179}Hf являются основным способом разрядки его компаунд-состояния, возбуждаемого при захвате тепловых нейтронов. Их доля составляет 67,4% на один распад компаунд-состояния. При этом выход наиболее интенсивных каскадов (табл.1) равен 40,5%.

Литература

1. Попов Ю.П. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1984, т.48, №5, с.89Г.
2. Попов Ю.П. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1984, т.48, №9, с.1830.
3. Васильева Э.В. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1984, т.48, №10, с.1907.
4. Васильева Э.В. и др. ОИЯИ, Р6-85-22, Дубна, 1985.
5. Бонова С.Т. и др. ОИЯИ, Р6-85-937, Дубна, 1985.
6. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, Р15-82-706, Дубна, 1982.
7. Суховой А.М., Хитров В.А. ПТЭ, 1984, №5, с.27.

8. Nucl. Data Sheets, 1976, v.17, N°2, p.291.
9. Beitins M.R. et. al., Nucl. Phys., 1976, A262, p.273.
10. Casten R.F., Kane W.R., Phys. Rev., 1973, C7, p.419.
11. Alenius G. et. al., Nucl. Phys., 1972, A186, p.209.
12. Nucl. Data Tables, 1981, v.26, p.511.

Бонева С.Т. и др. P6-86-493
 Исследование возбужденных состояний ^{179}Hf
 с помощью двухквантовых γ -каскадов

Измерены энергии переходов и интенсивности 236 двухквантовых каскадов между компаунд-состоянием ^{179}Hf и 10 его низколежащими уровнями. В схеме распада ^{179}Hf размещено 158 каскадов. В интервале энергий возбуждения 2217-3410 кэВ впервые определено положение 29 уровней, возбуждаемых интенсивными каскадами.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Boneva S.T. et al. P6-86-493
 Investigation of ^{179}Hf Excited States by Means
 of the Two-Quanta γ -Cascades

The γ -transition energies and intensities of 236 two-quanta cascades that populate ten low-lying levels of ^{179}Hf compound nucleus are determined. In a ^{179}Hf level scheme 158 cascades are located. Within the 2217-3410 keV range 29 level energies are determined for the first time.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

Рукопись поступила в издательский отдел
 17 июля 1986 года.