

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P6-85-22

Э.В.Васильева, Ю.П.Попов, А.М.Суховой,
В.А.Хитров, Ю.С.Язвицкий

НОВЫЕ ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ^{168}Er
НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КАСКАДОВ
В РЕАКЦИИ $(n, 2\gamma)$

1985

Работа продолжает цикл исследований двухквантовых каскадов в реакциях захвата тепловых нейтронов ядрами редкоземельных элементов. Одна из задач этих исследований - получение новых данных об уровнях ядер с возбуждением более 2 МэВ, т.е. в недостаточно изученной области. В работах /1-3/ сообщалось о результатах, полученных для ^{144}Nd , ^{165}Dy и ^{176}Yb соответственно. В данной работе на основе анализа двухквантовых каскадов в реакции $^{167}\text{Er}(n, 2\gamma)^{168}\text{Er}$ получены сведения об уровнях ^{168}Er с энергией до 5,8 МэВ.

Исследования каскадов выполнены с помощью спектрометра сумм амплитуд совпадающих импульсов /САСИ/, который имел два $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора с объемом около 40 см^3 . Образец помещался между детекторами и облучался пучком нейтронов от реактора ИБР-30, работающего в режиме импульсного бустера. Для выделения актов захвата тепловых нейтронов применен метод времени пролета. В спектре сумм амплитуд совпадающих импульсов /рис.1/ имеются хорошо выраженные пики, обусловленные теми случаями детектирования совпадений, когда один из квантов каскада двух γ -переходов полностью поглощается в одном детекторе, а второй - в другом.

В спектре одного детектора, полученного только из таких случаев регистрации совпадений, каждый каскад изображается двумя

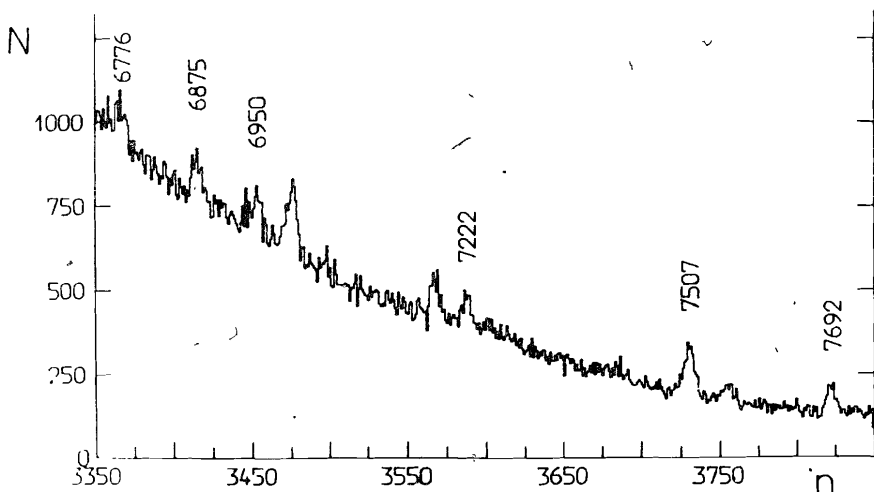


Рис.1. Спектр сумм амплитуд совпадающих импульсов из реакции $^{167}\text{Er}(n, 2\gamma)^{168}\text{Er}$.

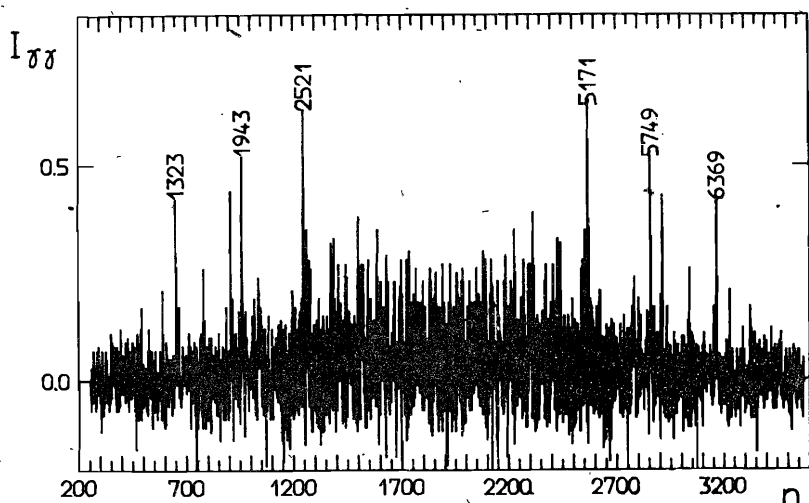


Рис.2. Распределение интенсивностей каскадов с суммарной энергией 7691 кэВ. Цифры над пиками - энергии некоторых γ -переходов, кэВ.

пиками. Их положение определяется значениями энергий γ -квантов каскада. После поправки на эффективность регистрации и улучшения разрешения предложенным ранее методом ^{4/}, полученный спектр, называемый ниже дифференциальным /ДС/^{5/}, становится симметричным относительно его центра. Сумма энергий пар γ -переходов в ДС однозначно задается энергией того пика в спектре САСИ, который используется для построения ДС.

Простая форма спектральной линии в ДС позволяет сравнительно просто их расшифровывать и получать информацию о каскадах из двух γ -переходов: их энергии и интенсивности. Более детальное описание используемого спектрометра и метода обработки данных приведено в ^{5/}.

Как видно из спектра САСИ, соответствующего γ -распаду ядра ¹⁶⁸Er /см. рис.1/, могут быть получены ДС с энергиями каскадов 7691, 7507, 7222, 6950, 6875 и 6776 кэВ. Эти каскады заселяют уровни ротационной полосы основного состояния ¹⁶⁸Er - их энергии 80, 264 и 548 кэВ и уровни ротационной полосы γ -вибрационного состояния - 821, 896 и 995 кэВ соответственно. Спины и четности уровней ротационной полосы основного состояния равны соответственно 2^+ , 4^+ , 6^+ , а γ -полосы - 2^+ , 3^+ и 4^+ .

Пример полученного ДС приведен на рис.2. В табл.1 даны значения энергий E_1 и E_2 и интенсивностей $I_{\gamma\gamma} \pm \delta I_{\gamma\gamma}$ /в процентах от полной площади ДС/ наиболее интенсивных каскадов из этих спектров. Для ряда каскадов был определен порядок следования γ -переходов. Соответствующие значения $E_M \pm \delta E_M$ энергии промежу-

точного уровня также даны в табл.1. Метод определения основывается на предположении о том, что если в разных ДС имеются пики, соответствующие одной и той же энергии γ -перехода, то они соответствуют первичному γ -переходу. Более детальное описание используемого при этом алгоритма приведено в ^{2/}.

Сводка данных об энергиях вторичных γ -переходов в ¹⁶⁸Er, возникающих при распаде уровня E_M приведена в табл.2. Сопоставление этих данных с известной схемой распада ¹⁶⁸Er ^{6/} показывает хорошее согласие для уровней с энергией возбуждения до 2 МэВ. Сведения о схемах распада уровней с большей энергией возбуждения получены впервые. При высокой плотности уровней в ¹⁶⁸Er и, соответственно, большем числе γ -линий при имеющейся точности измерений достаточно велика вероятность принять два близких по энергии γ -перехода в качестве общего "первичного". Поэтому при построении схемы уровней была использована имеющаяся информация о схеме γ -распада ядра ¹⁶⁸Er ^{6/}. Практически это привело к тому, что из полученной в нашем эксперименте схемы γ -распада ¹⁶⁸Er были исключены только два уровня. Отметим, что у-переходы с энергиями $E_\gamma > 4,6$ МэВ, интенсивность которых приведена в ^{6/}, размещены в схеме распада в основном в качестве "первичных". Это можно рассматривать как дополнительный критерий правильности установления порядка следования γ -переходов в каскадах.

Всего в этой работе исследован 131 каскад. Получены энергии 34 уровней ¹⁶⁸Er, возбуждаемых наиболее интенсивными γ -каскадами. В схеме распада размещено 76 вторичных γ -переходов. Остальные каскады разместить в схеме распада не удалось, т.к. у обоих квантов большинства оставшихся каскадов имеются "общие" γ -переходы в других спектрах.

Таблица 1
Параметры двухквантовых каскадов реакции ¹⁶⁷Er(n, 2 γ)¹⁶⁸Er

	E_1	E_2	$I_{\gamma\gamma}$	$\delta I_{\gamma\gamma}$	E_M	δE_M
$E_1 + E_2 = 7691,3$						
1	6495,5	1195,3	1,43	0,31	1275,9	0,4
2	6113,3	1577,4	1,62	0,44	1657,1	0,6
3	5858,2	1832,5	2,62	0,37	1911,9	2,0
4	5276,3	2414,3	1,65	0,47	2496,0	1,2
5	5171,9	2518,7	4,05	0,60	2598,7	0,4
6	5142,5	2548,1	1,84	0,62	2629,9	1,4
7	4215,8	3474,7	1,45	0,56	3557,7	2,5
8	4486,1	3204,3	1,67	0,57	4567,7	1,0
9	4615,2	3075,1	1,87	0,60	4697,5	1,7
10	4629,7	3060,7	1,54	0,59	4710,6	0,3
11	4659,2	3031,1	2,47	0,58	4740,2	0,3
12	5398,2	2292,1	0,98	0,49	5474,3	3,4

1	2	3	4	5	6	7
13	1323,4	6368,6	2,63	0,30		
14	1791,2	5900,9	1,38	0,38		
15	1850,7	5841,4	1,17	0,37		
16	1943,0	5749,1	3,08	0,38		
17	2096,9	5595,3	1,45	0,52		
18	2441,9	5250,1	1,18	0,48		
19	2504,1	5187,9	1,14	0,60		
20	2776,1	4916,0	1,91	0,65		
21	3563,1	4129,0	1,11	0,56		
22	3692,2	3999,9	1,54	0,60		
23	3748,4	3943,7	1,67	0,60		

$E_1+E_2= 7507,3$

1	6494,7	1012,6	0,63	0,27	1275,9	0,4
2	6198,8	1308,6	1,15	0,31	1572,9	0,7
3	6114,5	1392,9	1,37	0,30	1657,1	0,6
4	5857,3	1650,1	1,07	0,35	1911,9	2,0
5	5740,2	1767,2	0,67	0,36	2031,3	0,5
6	5345,0	2162,3	0,71	0,35	2423,6	2,3
7	5293,6	2213,8	1,35	0,38	2477,7	0,2
8	5172,7	2334,6	2,02	0,36	2598,7	0,4
9	5139,7	2367,7	0,90	0,38	2629,9	1,4
10	4368,1	3139,3	1,72	0,46	3405,2	2,3
11	4210,7	3296,6	1,05	0,49	3557,7	2,5
12	3976,8	3530,5	1,00	0,47	4240,5	0,0
13	3995,7	3511,6	1,22	0,46	4259,9	0,8
14	4231,2	3276,1	1,00	0,50	4494,8	0,1
15	4447,2	3060,2	1,26	0,45	4710,6	0,3
16	728,8	6778,5	0,76	0,32		
17	1776,5	5730,8	0,73	0,36		
18	1833,4	5673,9	2,61	0,37		
19	1860,3	5647,0	1,38	0,37		
20	1881,1	5626,2	0,95	0,37		
21	2048,4	5458,9	1,53	0,35		
22	2422,4	5084,9	1,07	0,48		
23	2460,8	5046,5	0,93	0,48		
24	2677,9	4829,4	0,95	0,46		
25	2787,3	4719,9	1,06	0,46		
26	2863,4	4643,9	3,15	0,46		
27	3098,3	4409,0	1,36	0,45		
28	3487,7	4019,6	1,06	0,46		
29	3656,5	3850,8	1,24	0,49		

1	2	3	4	5	6	7
$E_1+E_2= 7221,2$						
1	6197,4	1024,9	2,23	0,85	1572,9	0,7
2	5945,7	1276,5	2,22	0,97	1827,8	2,5
3	5739,2	1482,9	1,60	0,88	2031,3	0,5
4	5293,1	1928,8	3,28	0,98	2477,7	0,2
5	5273,8	1948,1	3,25	0,99	2496,0	1,2
6	4871,7	2350,1	3,83	1,28	2900,0	0,8
7	4739,3	2482,4	2,70	1,30	3030,2	1,4
8	4447,8	2773,9	3,72	1,68	3325,2	2,8
9	4363,5	2858,1	4,00	1,66	3405,2	2,3
10	4274,8	2946,8	4,92	1,57	3498,0	1,8
11	3871,9	3349,5	3,15	1,40	3898,3	0,8
12	3776,3	3445,0	4,08	1,59	4325,4	0,6
13	3972,2	3249,1	3,94	1,41	4521,2	0,7
14	4646,1	2574,9	6,07	1,32	5197,6	1,5
15	4921,0	2299,9	7,33	1,23	5474,3	3,4
16	1452,3	5767,8	1,56	0,90		
17	1583,1	5637,0	3,14	0,92		
18	2880,7	4338,4	3,32	1,50		
19	3233,9	3986,2	4,56	1,44		
20	3339,0	3881,1	2,96	1,39		

$E_1+E_2= 6950,7$

1	6202,1	748,2	4,44	1,02	1568,8	0,0
2	6136,2	814,2	8,32	0,97	1633,4	1,0
3	5940,7	1009,7	2,51	1,02	1827,8	2,5
4	5349,7	1600,8	3,81	1,44	2423,6	2,3
5	4447,8	2502,7	2,67	1,79	3325,2	2,8
6	3530,4	3420,2	7,10	2,25	4240,5	0,0
7	3509,9	3440,7	6,79	2,30	4259,9	0,8
8	3674,3	3276,4	5,02	1,98	4494,8	0,1
9	3700,1	3250,6	4,98	1,93	4521,2	0,7
10	3748,7	3202,0	4,77	1,89	4567,7	1,0
11	3840,4	3110,3	5,23	1,93	4658,5	2,2
12	4652,7	2298,0	4,93	2,07	5474,3	3,4
13	4977,8	1973,0	3,30	1,46	5797,3	0,7
14	720,6	6230,4	4,93	0,90		
15	1372,9	5578,1	3,43	1,22		
16	1397,6	5553,4	3,97	1,25		
17	1834,0	5117,5	5,27	1,47		
18	1986,6	4964,4	3,57	1,48		
19	2243,1	4706,6	3,04	2,28		
20	2558,7	4392,3	4,48	1,87		
21	3174,3	3776,7	5,19	1,91		

1	2	3	4	5	6	7
$E_1 + E_2 = 6874,9$						
1	6202,2	673,0	0,90	0,40	1568,8	0,0
2	6137,9	737,3	4,60	0,68	1633,4	1,0
3	5858,2	1017,0	1,44	0,54	1911,9	2,0
4	4441,9	2433,2	1,92	1,00	3325,2	2,8
5	3873,4	3001,6	2,94	1,09	3898,3	0,8
6	3511,7	3363,3	1,94	1,08	4259,9	0,8
7	3760,3	3114,7	2,80	1,06	4658,5	2,2
8	3803,2	3071,8	3,18	1,04	4697,5	1,7
9	3844,4	3030,5	2,54	1,06	4740,2	0,3
10	4142,9	2732,0	1,89	1,05	5037,7	1,2
11	4303,1	2571,8	2,60	1,00	5197,6	1,5
12	1365,6	5509,1	3,01	0,76		
13	1514,6	5360,1	3,03	0,77		
14	2335,5	4539,2	2,42	0,96		
15	2361,6	4513,4	2,60	1,03		
16	2822,6	4052,1	2,57	1,04		
17	2865,1	4009,6	2,51	1,01		
18	3189,6	3685,1	2,38	1,05		
$E_1 + E_2 = 6777,7$						
1	6138,6	638,1	3,59	0,66	1633,4	1,0
2	5862,5	914,3	3,39	1,00	1911,9	2,0
3	5293,1	1483,8	8,32	1,52	2477,7	0,2
4	4870,2	1906,9	3,21	1,41	2900,0	0,8
5	4742,2	2034,9	3,50	1,34	3030,2	1,4
6	4271,2	2506,0	4,04	1,66	3498,0	1,8
7	3446,2	3331,2	4,44	1,75	4325,4	0,6
8	3573,9	3203,6	6,36	1,79	4567,7	1,0
9	4043,1	2734,5	6,02	1,84	5037,7	1,2
10	4803,4	1974,4	4,52	1,40	5797,3	0,7
11	716,4	6061,8	2,09	1,05		
12	727,7	6050,6	4,88	1,04		
13	1310,2	5468,1	2,45	1,08		
14	1345,0	5433,3	2,56	1,06		
15	1409,4	5368,9	3,30	1,06		
16	1533,4	5244,9	4,19	1,47		
17	1565,0	5213,2	3,30	1,48		
18	1684,0	5094,3	5,70	1,37		
19	2134,5	4643,7	4,15	1,39		
20	2524,4	4253,9	3,89	1,63		

Таблица 2
Значения энергий вторичных γ -переходов, возбуждаемых
первичным γ -переходом E_1 на уровень E_M для разных
каскадов

E_1	E_M	7691	7507	7222	6950	6875	6776
6495,1	1275,9	1198	1012				
6202,2	1568,8				748	673	
6198,1	1572,9		1309	1025			
6137,6	1633,4				813	738	639
6113,9	1657,1	1579	1393				
5943,2	1827,8			1279	1007		
5859,1	1911,9	1834	1648			1016	918
5739,7	2031,3		1768	1483			
5347,4	2423,6		2160		1603		
5293,3	2477,7		2214	1929			1483
5275,0	2496,0	2418		1948			
5172,3	2598,7	2521	2335				
5141,1	2629,9	2552	2366				
4871,0	2900,0			2352			1906
4740,8	3030,2			2482			2036
4445,8	3325,2			2777	2504	2429	
4365,8	3405,2		3142	2857			
4273,0	3498,0			2950			2504
4213,3	3557,7	3480	3294				
3872,7	3898,3			3350		3003	
3530,5	4240,5		3977		3420		
3511,1	4259,9		3996		3439	3364	
3445,6	4325,4			3777			3331
3276,2	4494,8		4231		3674		
3249,8	4521,2			3973	3700		
3203,3	4567,7	4490			3747		3573
3112,5	4658,5				3838	3763	
3073,5	4697,5	4619				3802	
3060,4	4710,6	4632	4447				
3030,8	4740,2	4662				3844	
2733,3	5037,7					4138	4043
2573,4	5197,6			4649		4302	
2296,7	5474,3	5396		4926	4654		
1973,7	5797,3				4977		4803

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Ю.П. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, с. 1830.
2. Попов Ю.П. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, с. 891.
3. Васильева Э.В. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, с. 1907.
4. Суховой А.М., Хитров В.А. ПТЭ, 1984, №5, с. 27.
5. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, Р15-82-706, Дубна, 1982.
6. Davidson W.F. et al. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1981, vol.7, p.455.

Васильева Э.В. и др. Р6-85-22
Новые возбужденные состояния ^{168}Er на основе изучения каскадов в реакции $(n, 2\gamma)$

С помощью метода суммирования амплитуд совпадающих импульсов от двух Ge(Li) детекторов исследована реакция $^{167}\text{Er}(n, 2\gamma)^{168}\text{Er}$ на тепловых нейтронах. Определены интенсивности 131 двухквантовых каскадов, заселяющих 6 низколежащих уровней ^{168}Er , а также энергии γ -переходов в этих каскадах. Построена схема уровней, содержащая в интервале энергий возбуждения 1276-5797 кэВ 34 уровня.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод Т.Ф.Дроздовой

Vasilieva E.V. et al. P6-85-22
New Excited States of ^{168}Er on the Basis of the Study of Cascades in the $(n, 2\gamma)$ Reaction

The $(n, 2\gamma)$ reaction on thermal neutrons was studied by the method of summation of amplitudes of coinciding pulses from two Ge(Li) detectors. Intensities of 131 two-quanta cascades populating 6 low-lying states and γ -transition energies of these cascades have been determined. The level scheme has been constructed which contains 34 levels within the 1276-5797 keV excitation energy.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985