

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Р6 - 8523

Г-874

31/III-75

К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, К.Зубер, Я.Зубер,
Т.А.Исламов, В.В.Кузнецов, Х.-Г.Ортлепп,
А.В.Потемпа

1209/2-75

О РАСПАДЕ ¹⁵⁶Но

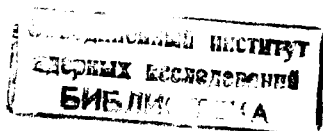
1975

P6 - 8523

К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, К.Зубер, Я.Зубер,
Т.А.Исламов, В.В.Кузнецов, Х.-Г.Ортлепш,
А.В.Потемпа

О РАСПАДЕ ¹⁵⁶Но

Направлено в Acta Physica Polonica



Громов К.Я., Желев Ж.Т., Зубер К., Зубер Я.,
Исламов Т.А., Кузнецов В.В., Ортелеп Х.-Г.,
Потемпа А.В.

P6 - 8523

О распаде ^{156}Ho

Измерены спектры гамма-лучей, электронов внутренней конверсии,
 γ - γ -совпадений, и β^+ - γ -совпадений.

Предлагается схема возбужденных уровней ^{156}Dy и спин основного
состояния ^{156}Ho .

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Gromov K.Ya., Zhelev Zh.T., Zuber K.,
Zuber Ya., Islamov T.A., Kuznetsov V.V.,
Ortlepp H.-G., Potempa A.V.

P6 - 8523

On the Decay of ^{156}Ho

The γ -ray, internal conversion electron, γ - γ - and
 β^+ - γ -coincidence spectra are measured. The excited levels
of ^{156}Dy and the ground state spin and parity ^{156}Ho are
suggested.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Возбужденные состояния ^{156}Dy интенсивно изучались
в последнее время методами ядерных реакций /1-5/.
В реакциях (α , Xn), (p , Xn), (d , d') и (HI , Xn) наблюда-
лись уровни ротационных полос: основного состояния до
 $J^\pi K = 20^+0$, γ -вибрационного состояния до $J^\pi K = 9^+2$,
 β -вибрационного состояния до $J^\pi K = 22^+0$ и ряд других
возбужденных состояний. В работах /4,5/ обнаружены
аномалии в энергетических интервалах между уровнями
ротационных полос основного и β -вибрационного состоя-
ний /бэкбендинг - эффект/.

Уровни ^{156}Dy возбуждаются также и при бета-распаде
 ^{156}Ho . Однако распад ^{156}Ho до сих пор изучен относитель-
но слабо. В работах /6-8/ показано, что при распаде
 ^{156}Ho / $T_{1/2} = 55 \pm 1$ мин / возбуждаются уровни рота-
ционной полосы основного состояния до $J^\pi K = 6^+0$. Же-
лев и др. /9/ наблюдали при распаде ^{156}Ho позитроны
с граничной энергией 3,0 МэВ. Экстрем и др. в /10/ из-
меряли спин ^{156}Ho и получили значение $I = 1$. В сообще-
ниях /11-12/ предполагались варианты схемы распада ^{156}Ho .

Излучение, возникающее при распаде ^{156}Ho , изуча-
лось в нашей лаборатории в течение нескольких лет.
Предварительные результаты этих исследований опубли-
кованы /14,15/.

Условия экспериментов. Результаты

Источники ^{156}Ho мы получали при облучении тантало-
вой мишени протонами с энергией ≈ 660 МэВ на синхроцик-
лотроне Объединенного института ядерных исследований
в Дубне. Использовано два метода приготовления источни-

ков. В первом мишень облучалась на внутреннем протонном пучке $i_p = 2,3 \text{ мкА}$. Изотопы редкоземельных элементов выделялись из облученной мишени и разделялись по элементам химическим методом. Гольмий разделялся по изотопам на масс-сепараторе. Второй метод заключался в непосредственном помещении мишени, облученной на выведенном протонном пучке $i_p = 0,2 \text{ мкА}$, в ионный источник масс-сепаратора. Мишень разогревалась в этом источнике, редкоземельные элементы диффундировали в объем ионизатора и разделялись по изобарам. Метод подробно описан в ^{16/}. При сепарации изотопов в обоих случаях использован ионный источник с поверхностной ионизацией ^{17/}. Примеси других изотопов в источниках ¹⁵⁶Ho, полученных обоими методами, оценивались и были меньше 0,1%.

Спектры γ -лучей исследовались с помощью спектрометров с Ge(Li) -детекторами с чувствительным объемом 2,7 и 40 см³ с энергетическим разрешением 0,7 кэВ для ⁵⁷Co и 2,5 кэВ для ⁶⁰Co, соответственно. Спектры γ - γ -совпадений изучались с помощью двух Ge(Li) -детекторов объемом 27 и 40 см³ и системы регистрации двумерных событий на базе ЭВМ HP-2116C.

С помощью той же системы изучались спектры γ - β^+ -совпадений. Для регистрации позитронов в этих экспериментах использовался кристалл стибьена толщиной 2 см и площадью 3 см².

Спектры конверсионных электронов исследовались на β -спектрографах с постоянным однородным магнитным полем ^{18/} при разрешающей способности $\approx 0,05\%$. В качестве источников в этих измерениях использовалась сумма всех изотопов гольмия, химически выделенного из танталовой мишени. Точность определения относительных интенсивностей конверсионных электронов мы оцениваем в пределах от 10 до 50% для сильных и слабых линий, соответственно.

Результаты анализа спектров γ -лучей и конверсионных электронов представлены в табл. 1. Для калибровки γ -лучей по энергиям и относительным интенсивностям использовались источники γ -лучей с известными энергиями и относительными интенсивностями - ¹⁶⁹Yb, ¹⁵²Eu, ⁵⁶Co, ¹⁸²Ta. В скобках при J_γ даны статистические

Таблица 1. Энергии и интенсивности γ -лучей и конверсионных электронов при распаде ¹⁵⁶Ho

$E_\gamma(\text{кэВ})$	$J_\gamma(\Delta J_\gamma)$	J_K	$\alpha_K \times 10^3$	Мульти- польность
1	2	3	4	5
137,80 (8)	1000	450	450	E2
266,55 (10)	1071 (II)	80	75	E2
278,00 (25)	8,7 (9)	0,6	62	E2
313,58 (16)	6,8 (13)	0,3	44	E2
317,97 (27)	3,3 (13)	0,15	45	E2
349,09 (10)	14,6 (8)	0,6	41	E2
357,00 (47)	4,2 (8)			
366,44 (8)	210 (2)	6,3	30	E2
424,49 (20)	7,7 (13)	0,15	19	E2
486,20 (35)	3,1 (12)			
524,04 (50)	1,1 (4)	0,02	17	(E2)
538,18 (25)	5,3 (7)	0,07	13	E2, E2+M1
548,36 (70)	2,0 (6)	0,03	15	E2, M1
554,03 (28)	4,8(6)	0,08	17	M1
556,16 (23)	12,5 (5)	0,15	12	E2+M1
582,58 (41)	2,4 (4)	0,04	17	M1
586,24 (36)	4,6 (5)	0,02	4,4	E1
589,21 (28)	4,7 (9)	0,06	13	M1, E2
605,33 (45)	4,7 (9)	0,04	8,5	E2
608,21 (78)	2,1 (9)	0,03	14	M1
618,13 (20)	26,8 (5)	0,20	7,5	E2
625,42 (80)	1,6 (II)	0,07	44	
638,25 (98)	2,4 (II)			
654,43 (44)	3,5 (6)			
663,29 (37)	2,9 (7)	0,02	7,0	E2
667,14 (18)	20,7 (9)	1,20	58	E0 + E2
671,67 (42)	2,2 (8)	0,04	9,1	M1 + E2
675,80 (30)	0,5	0,20	40	E0
680,60 (54)	4,8 (10)	0,04	8,4	E2 + M1
684,38 (16)	105,4 (14)	4,50	43	E0 + E2

Таблица 1
(продолжение)

I	2	3	4	5
691,08 (15)	84,6 (13)	3,00	36	E0 + E2
715,11 (42)	2,4 (4)	0,03	I2	MI
753,16 (23)	30,5 (18)	0,20	6,5	E2(+MI)
755,42 (34)	13,9 (11)	0,04	2,9	E1, (E2)
764,42 (16)	69,5 (7)	0,50	7,2	MI
796,20 (20)	11,3 (4)			
818,00 (90)	5,5 (9)	0,05	9,1	MI
838,31 (95)	1,0 (6)			
855,65 (61)	5,2 (13)	0,025	4,8	E2
859,17 (70)	3,8 (12)	0,030	7,9	MI
880,46 (34)	6,6 (8)	0,050	7,6	MI
884,60 (17)	138,6 (11)	0,43	3,1	E2
890,87 (18)	52,1 (8)	0,15	2,9	E2
907,56 (33)	2,9 (5)	0,01	3,4	E2
912,54 (42)	2,0 (4)	0,005	2,5	E2
920,76 (83)	1,4 (6)	0,007	5	MI
931,65 (18)	58,3 (6)	0,17	2,9	E2
950,50 (24)	13,9 (6)	0,04	2,8	E2
960,43 (29)	7,7 (6)	0,01	1,3	E1
964,53 (27)	12,2 (8)	0,015	1,2	E1
968,23 (69)	2,3 (7)	0,007	3,0	E2
980,06 (65)	2,3 (6)	0,004	1,7	E1, E2
988,25 (53)	1,9 (3)	0,006	3,1	E2
1001,93 (29)	5,7 (5)	0,004	0,7	E1
1013,22 (55)	1,0 (5)			
1031,04 (19)	61,9 (9)	0,15	2,4	E2
1039,31 (51)	3,3 (8)	0,012	3,6	MI+(E2)
1050,85 (44)	2,0 (5)	0,010	5,0	MI
1076,35 (24)	7,4 (3)	0,007	0,94	E1
1081,38 (20)	10,1 (6)			
1087,83 (25)	6,0 (5)			
1111,57 (25)	6,4 (6)			
1122,09 (12)	65,4 (11)	0,050	0,76	E1
1128,28 (21)	10,3 (10)	0,025	2,4	E2

Таблица 1
(продолжение)

I	2	3	4	5
1137,36 (70)	3,3 (8)			
1140,08 (56)	3,5 (10)			
1149,10 (69)	1,2 (5)			
1155,72 (14)	21,4 (5)	0,013	0,65	E1
1174,62 (28)	9,1 (11)			
1177,96 (48)	4,4 (10)	0,007	1,6	E2
1191,77 (78)	2,0 (7)			
1205,67 (29)	9,7 (9)	0,006	0,62	E1
1218,93 (39)	7,4 (11)			
1223,57 (19)	47,5 (13)			
1231,01 (20)	42,0 (13)	0,02	0,71	E1
1235,74 (79)	2,8 (10)			
1273,72 (32)	4,4 (6)			
1278,50 (25)	8,0 (8)			
1284,31 (41)	3,2 (6)			
1292,85 (22)	12,8 (6)	0,01	0,78	E1

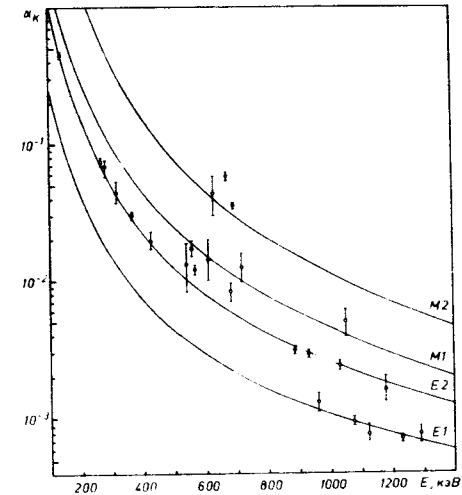


Рис. 1. Теоретические кривые для разных мультипольностей и экспериментальные значения α_k для ряда γ -переходов в ^{156}Dy .

Таблица 1
(продолжение)

Еу(АЕу) квВ	Jy(АJy)		Еу(АЕу) квВ	Jy(АJy)	
	1	2		1	2
1297,53 (29)	7,5 (5)		1573,05 (90)	1,0 (4)	
1301,96 (20)	32,1 (6)		1583,20 (87)	1,4 (5)	
1309,89 (26)	7,6 (6)		1597,60 (46)	2,4 (3)	
1315,41 (29)	6,3 (5)		1601,42 (59)	1,6 (3)	
1321,10 (40)	3,1 (5)		1609,11 (60)	1,4 (3)	
1332,91 (43)	2,4 (5)		1626,96 (61)	1,8 (3)	
1338,64 (21)	12,0 (5)		1630,65 (97)	0,8 (3)	
1348,83 (95)	1,0 (8)		1635,38 (29)	6,8 (5)	
1355,10 (38)	3,7 (7)		1643,48 (47)	2,4 (3)	
1364,72 (49)	1,8 (4)		1650,38 (23)	18,4 (4)	
1381,37 (28)	6,4 (7)		1656,52 (33)	5,4 (3)	
1387,11 (29)	6,7 (8)		1663,71 (30)	7,0 (4)	
1391,80 (21)	16,0 (8)		1668,27 (37)	4,6 (4)	
1397,43 (35)	4,6 (7)		1681,68 (80)	1,9 (7)	
1407,17 (91)	1,6 (7)		1685,39 (65)	3,0 (8)	
1416,89 (16)	22,1 (4)		1689,71 (80)	1,5 (7)	
1423,77 (20)	7,4 (4)		1706,13 (73)	2,0 (5)	
1433,95 (25)	10,3 (7)		1730,60 (44)	4,9 (9)	
1454,00 (22)	21,2 (14)		1735,60 (39)	8,0 (9)	
1460,55 (74)	2,9 (13)		1758,29 (70)	3,5 (9)	
1472,29 (21)	21,7 (8)		1761,45 (80)	3,0 (9)	
1479,41 (38)	6,6 (8)		1792,00 (47)	4,5 (4)	
1485,21 (70)	2,7 (8)		1796,18 (46)	4,6 (4)	
1495,39 (26)	7,4 (7)		1801,37 (95)	1,0 (4)	
1500,53 (26)	6,7 (7)		1814,43 (95)	0,9 (4)	
1518,82 (38)	4,4 (6)		1825,98 (52)	6,2 (7)	
1525,25 (32)	6,8 (7)		1841,91 (86)	1,4 (3)	
1529,37 (25)	13,1 (8)		1844,49 (75)	1,7 (3)	
1536,99 (36)	5,7 (8)		1861,57 (41)	6,8 (2)	
1542,24 (49)	5,1 (8)		1866,76 (75)	1,4 (3)	
1545,87 (30)	10,6 (8)		1869,91 (73)	1,6 (3)	
1565,04 (45)	2,8 (5)		1875,04 (61)	1,9 (2)	

Таблица 1
(продолжение)

1		2		1		2	
1891,04 (60)	3,0 (5)	2301,6 (6)	3,0 (6)				
1899,76 (64)	3,9 (6)	2306,6 (6)	3,0 (6)				
1903,84 (61)	4,8 (6)	2321,2 (7)	1,5 (2)				
1908,92 (63)	3,2 (5)	2327,5 (6)	2,2 (3)				
1921,34 (67)	2,9 (5)	2339,0 (9)	1,3 (4)				
1931,57 (66)	2,6 (4)	2349,3 (9)	1,5 (7)				
1952,84 (62)	2,9 (4)	2353,4 (4)	10,0 (8)				
1962,42 (95)	1,9 (8)	2365,1 (6)	2,9 (6)				
1969,66 (58)	5,1 (9)	2368,9 (8)	2,1 (6)				
1989,96 (95)	2,1 (9)	2373,9 (6)	3,4 (6)				
1993,75 (95)	1,3 (9)	2398,1 (8)	1,4 (4)				
2005,24 (72)	2,4 (5)	2404,7 (6)	2,0 (4)				
2015,07 (66)	2,9 (5)	2413,0 (5)	14,2 (5)				
2026,95 (61)	4,0 (6)	2417,8 (5)	29,3 (6)				
2031,06 (42)	18,8 (8)	2428,0 (5)	3,5 (4)				
2036,22 (42)	14,4 (8)	2434,2 (6)	2,1 (4)				
2042,45 (59)	3,3 (6)	2451,0 (6)	2,4 (5)				
2053,44 (46)	12,8 (7)	2480,3 (4)	2,1 (5)				
2063,88 (61)	4,9 (7)	2485,9 (8)	1,6 (6)				
2075,46 (66)	3,0 (5)	2489,5 (5)	2,6 (5)				
2078,64 (96)	1,4 (9)	2570,8 (5)	3,7 (6)				
2086,16 (73)	6,6 (12)	2575,2 (5)	3,4 (6)				
2089,10 (95)	3,1 (13)	2580,1 (7)	3,4 (5)				
2101,62 (71)	1,7 (3)	2589,4 (7)	1,9 (5)				
2136,04 (85)	2,0 (5)	2610,5 (6)	1,9 (3)				
2169,85 (65)	3,1 (4)	2724,8 (7)	1,7 (3)				
2209,2 (9)	1,9 (7)	2753,8 (5)	2,7 (2)				
2216,6 (9)	1,7 (7)	2820,6 (8)	0,5 (2)				
2234,3 (5)	14,6 (8)	2825,3 (8)	1,2 (3)				
2238,0 (6)	5,3 (7)	2890,8 (7)	2,2 (3)				
2270,9 (5)	8,1 (4)	2893,4 (6)	1,0 (3)				
2277,4 (6)	3,7 (5)	3270,6 (7)	1,4 (2)				
2286,3 (9)	1,5 (4)						

Таблица 1а. Энергии γ -переходов и относительные интенсивности конверсионных электронов для γ -переходов, наблюдавшихся только при исследовании спектров конверсионных электронов.

E_γ (кэВ)	Относительные интенсивности* в линиях К.э.	Возможное размещение в схеме распада рис.2	Полная интенсивность перехода
61,7	$L_{II} \sim 3$ $L_{III} \sim 3$	$2\frac{+}{j} \rightarrow 2\frac{+}{o}$ 890 \rightarrow 828	7,5
80,2	$L_{II} \sim 2$ $L_{III} \sim 2$	$4\frac{+}{j} \rightarrow 4\frac{+}{o}$ 1168 \rightarrow 1088	6
131,7	$K \sim 0,9$	$3\frac{+}{j} \rightarrow 2\frac{+}{j}$ 1022 \rightarrow 890	10
146,4	$K \sim 0,5$	$4\frac{+}{j} \rightarrow 3\frac{+}{j}$ 1168 \rightarrow 1022	2
152,8	$K \sim 0,7$	$2\frac{+}{p} \rightarrow 0\frac{+}{p}$ 828 \rightarrow 675	3
167,0	$K \sim 2$	$5\frac{+}{j} \rightarrow 4\frac{+}{j}$ 1336 \rightarrow 1169	10

* Единицы относительных интенсивностей те же, что и в табл. 1.

Таблица 2. γ - γ -совпадения при распаде ^{156}Ho .

Окно (E_γ кэВ)	γ -переходы в совпадении
137,8	266,5; 366,4; 538,2; 565,2; 618,1; 671,7; 691,1; 753,2; 755,4; 764,4; 884,6; 931,6; 964,5; 1031,0; 1081,4; 1122,1; 1155,7; 1223,6; 1231,0; 1381,4; 1472,3
266,5	137,8; 349,1; 366,4; 424,5; 618,1; 671,7; 684,4; 755,4; 764,4; 931,6; 964,5; 988,2; 1122,1; 1223,6; 1903,8; 2005,2
366,4	137,8; 266,5; 318,0; 565,2; 667,1; 755,4; 855,6; 1174,6
618,1	137,8; 266,5; 313,6; 671,7
684,4	137,8; 266,5; 349,1
691,1	137,8
884,6	137,8
890,9	278,0
1031,0	137,8; 357,0

ошибки определения площадей пиков полного поглощения в спектре γ -лучей. Для получения полной погрешности определения относительных интенсивностей γ -лучей следует учесть ошибку в определении эффективности регистрации γ -лучей детектором, которая составляла в нашем случае $\approx 10\%$ при $E_\gamma < 500$ кэВ и $\approx 5\%$ при $E_\gamma > 500$ кэВ. Для большинства γ -переходов в области до 1300 кэВ измерены относительные интенсивности электронов внутренней конверсии и определены значения a_k . Выводы о мультипольности γ -переходов даны в последнем столбце табл. 1. На рис. 1 экспериментальные значения a_k для ряда переходов сравниваются с расчетными для разных мультиполей. Измеренные отношения интенсивностей L_I , L_{II} и L_{III} линий конверсионных электронов γ -переходов 137,8; 266,5; и 368,4 кэВ однозначно определяют их мультипольность E2. Несколько γ -переходов, которые могут быть отнесены к распаду ^{156}Ho , обнаружены только в спектрах конверсионных электронов. Сведения об этих переходах даются в табл. 1а. В табл. 2 даны результаты изучения спектров γ - γ -совпадений при распаде ^{156}Ho .

Схема распада ^{156}Ho

Предлагаемая схема распада ^{156}Ho изображена на рис. 2а и 2б. При построении схемы уровней ^{156}Dy прежде всего использовались результаты исследования спектров γ - γ -совпадений /табл. 3/. Уровни, введенные на основе изучения спектров γ - γ -совпадений /их 22/, отмечены на рис. 2а буквой А. Далее, на основе анализа общих суммарностей энергий γ -переходов и уровней было введено еще 25 возбужденных состояний ^{156}Dy . Спины и четности введенных уровней определялись на основе измеренных мультипольностей γ -переходов. Принимались во внимание также сведения об относительных интенсивностях γ -переходов с уровня и результаты изучения ядерных реакций $^{156}\text{Ho} \rightarrow ^{156}\text{Dy} + \gamma$.

В предложенной схеме распада ^{156}Ho размещено 176 γ -переходов из 209, наблюдавшихся в γ -спектре. Интенсивность 33 неразмещенных γ -переходов составляет

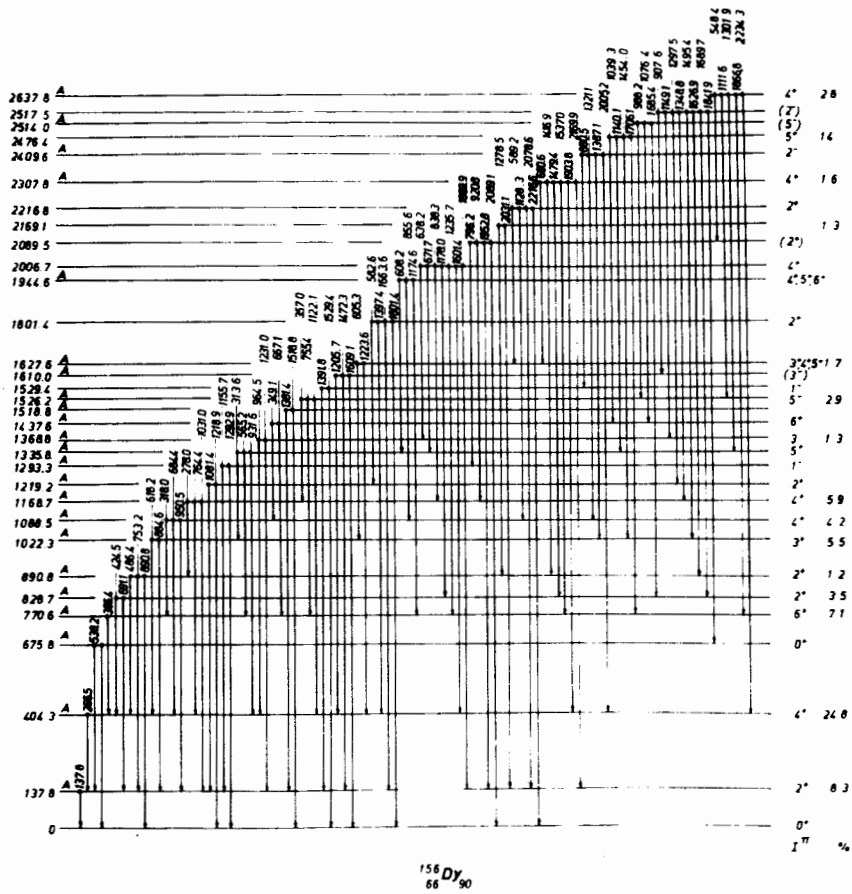


Рис. 2а. Низкоэнергетическая схема распада ^{156}Ho .

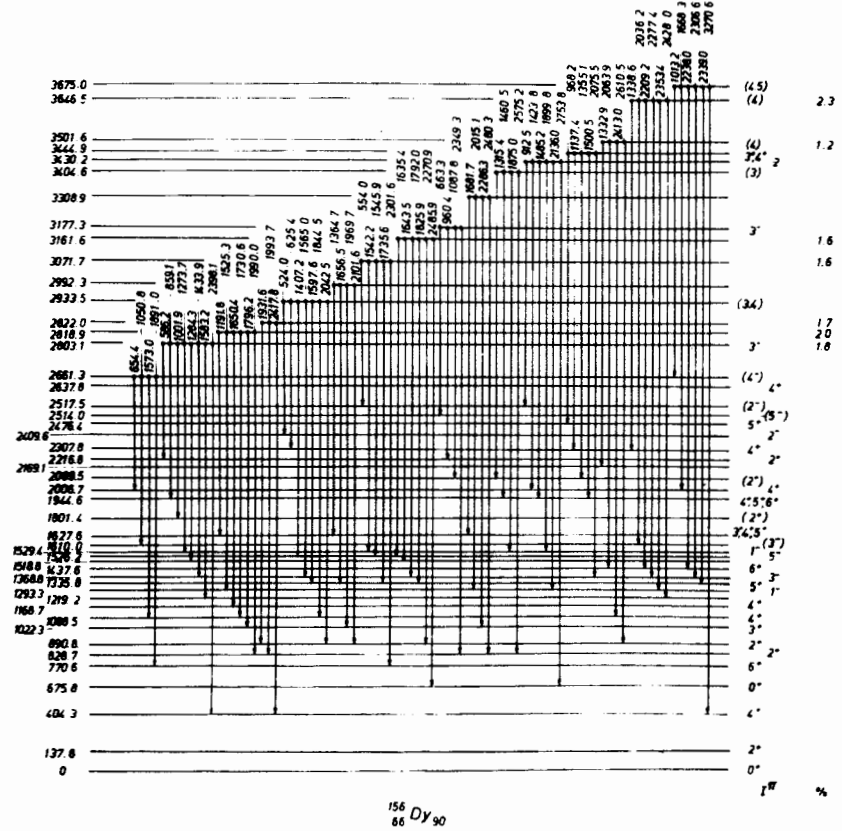
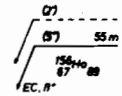


Рис. 2б. Высокоэнергетическая схема распада ^{156}Ho .

около 2% интенсивности всех γ -переходов ^{156}Ho /100 единиц табл. 1/ или около 5% всех распадов ^{156}Ho , если принять за 100% распада ^{156}Ho сумму интенсивностей γ -переходов в основное состояние ^{156}Dy .

Спин и четность основного состояния ^{156}Ho

В сообщении Шеперса /11/ состоянию ^{156}Ho с $T_{1/2} = 55$ мин приписаны спин и четность 9^+ на том основании, что среди возбужденных состояний ^{156}Dy были обнаружены уровни 2637 кэВ / 8^+ / и 1220 кэВ / 8^+ /. По нашим данным: 1/ уровень 2637,8 кэВ имеет спин и четность 4^+ и 2/ уровень 1220 кэВ типа $8,0^+$ при распаде ^{156}Ho /55 мин/ не возбуждается, т.к. мы не наблюдали перехода $8,0^+ \rightarrow 6,0^+$ с энергией 445 кэВ. Его интенсивность $< 0,5$ единиц табл. 1. Среди введенных нами уровней нет ни одного со спином, большим 6. Таким образом, $1^\pi = 9^+$ для основного состояния ^{156}Ho исключается. В табл. 3 приведены оценки интенсивности β -распада на уровни схемы рис. 2 и соответствующие значения $\lg ft$. При вычислениях $\lg ft$ использовано значение разности масс $^{156}\text{Ho} \rightarrow ^{156}\text{Dy}$, равное 4,4 МэВ, полученное при предположении, что самая жесткая компонента позитронов с $E_{\text{гр}} = 3,0$ МэВ /^{9/} идет на уровень 409,4 кэВ / 4^+ /. Из табл. 2 видно, что большая часть распадов ^{156}Ho ведет к возбуждению уровней со спинами 4^+ , 5^+ и 6^+ . Это приводит к заключению о том, что основное состояние ^{156}Ho /55 мин/ имеет значение спина и четности $1^\pi = 5^+$. Такое заключение находится в противоречии с измерениями спина основного состояния ^{156}Ho / $T_{1/2} = 55$ мин / $v^{10}/I = 1$ и данными табл. 2 о заметном заселении в прямом бета-распаде уровней с низкими значениями спина. Для более точной оценки интенсивности заселения уровня 137,8 кэВ / $1^\pi = 2^+$ / при β -распаде ^{156}Ho мы провели опыты по γ - β^+ -совпадениям.

Результаты этих экспериментов показывают, что спектры позитронов, наблюдаемых при совпадении с γ -лучами 137,8 и 266,5 кэВ, идентичны по форме и имеют одну и ту же граничную энергию. Спектр позитронов, наблюдаемый при совпадении с γ -лучами 366,4 кэВ, имеет

Таблица 3. Уровни ^{156}Ho , заселяемые при распаде ^{156}Ho

J ^π к	E уровня кэВ	Интенсивность заселения уровня в β -распаде *	
			$\lg ft$
		1	4
2 ⁺ 0	137,7	10,3±13,0	-
4 ⁺ 0	404,3	24,8± 6,7	6,2±0,1
0 ⁺ 0	675,8	0,0025	10,1
6 ⁺ 0	770,6	7,1± 1,3	6,7±0,1
2 ⁺ 0	828,7	3,5± 0,6	7,0±0,1
2 ⁺ 2	890,8	1,2± 0,5	7,4±0,2
3 ⁺ 2	1022,3	5,5± 0,7	6,7±0,1
4 ⁺ 0	1088,5	4,2±0,7	6,8±0,1
4 ⁺ 2	1168,7	5,9± 0,3	6,7±0,1
	1219,2	0,14±0,18	8,25
1 ⁻ 0	1293,3	0,06	8,7
5 ⁺ 2	1335,8	0,8±0,6	7,5±0,6
3 ⁻ 2	1368,8	1,3±0,4	7,2±0,3
6 ⁺ 0	1437,6	0,7±0,3	7,4±0,2
	1518,8	0,3±0,1	7,9±0,2
5 ⁻ 2	1526,2	2,9±0,4	6,9±0,2
1 ⁻ 1	1529,4	0,1	
(3 ⁻ 1)	1610,0	0,7±0,2	7,4±0,2
3 ⁺ , 4 ⁺ , 5 ⁺	1627,6	1,7±0,2	7,1±0,1
(2 ⁺)	1801,4	0,5±0,1	7,6±0,1
5 ⁺ , 6 ⁺	1944,6	0,014	9,0
4 ⁺	2006,7	0,012	8,7
(2 ⁺)	2089,5	0,017	8,9
	2169,1	1,4±0,2	7,0±0,1
2 ⁺	2216,8	0,03	8,6
4 ⁺	2307,8	1,6±0,2	6,9±0,1
2 ⁻	2409,6	0,9±0,2	7,1±0,1

Таблица 3
(продолжение)

1	2	3	4
4 ⁺ , 5 ⁺	2476,4	1,4±0,3	6,8±0,1
(5 ⁻)	2514,0	0,5±0,1	7,3±0,1
(2 ⁻)	2517,5	0,9±0,3	7,0±0,2
4 ⁺	2673,8	2,8±0,2	6,4±0,1
(4 ⁻)	2661,3	0,5±0,1	7,2±0,1
3 ⁻	2803,1	1,8±0,2	6,6±0,1
	2818,9	2,0±0,2	6,5±0,1
	2822,0	1,7±0,2	6,6±0,1
(3,4)	2933,5	0,7±0,2	6,9±0,1
	2992,3	1,0±0,2	6,7±0,1
	3071,7	1,6±0,2	6,5±0,1
	3161,6	1,6±0,2	6,4±0,1
3 ⁻	3177,3	0,9±0,3	6,6±0,2
	3308,9	0,4±0,2	6,9±0,4
(3)	3404,6	0,6±0,2	6,6±0,2
	3430,2	0,8±0,2	6,4±0,1
3 ⁺ , 4 ⁺	3444,9	1,0±0,2	6,4±0,1
(4 ⁺)	3501,6	1,2±0,2	6,2±0,1
	3646,6	2,3±0,1	5,8±0,1
(4,5)	3675,0	0,8±0,1	6,2±0,1

* Интенсивности заселения уровней в β -распаде даны в % на распад ^{156}Ho в предположении, что суммарная интенсивность γ -переходов в основное состояние на схеме (рис. 2) равна 100 %.

граничную энергию, примерно на 400 кэВ меньшую, чем $E_{\text{Гр}} \beta^+$ в первых двух случаях. Абсолютные определения граничных энергий β^+ -спектров не проводились, но в пределах ± 200 кэВ граничная энергия первых двух спектров совпадает с определенной в $^{19}\text{F} \beta_{\text{Гр}}^+ = 3,0 \text{ МэВ}$. Эти опыты позволяют заключить, что β -распад на уровень 138,7 кэВ либо мал ($< 3\%$ распадов/

либо совсем не происходит. Относительно высокая интенсивность заселения в бета-распаде более высоких уровней с низкими спинами может существенно уменьшиться при дальнейшем уточнении схемы распада ^{156}Ho за счет γ -переходов с более высоких уровней. Например, размещение в схеме распада γ -переходов /табл. 1а/ с энергиями 61,7 и 131,5 кэВ так, как указано в таблице, полностью снимает заселение в β -распаде уровней 828,7 кэВ/ 2^+ O / и 890,8 кэВ/ 2^+ O /. Таким образом, мы считаем, что основное состояние $^{156}\text{Ho} / T_{1/2} = 55 \text{ мин}$ / имеет спин и четность 5^+ . Аналогичный вывод был сделан в недавно выполненной в нашей лаборатории работе ^{19/} при исследовании распада $^{156}\text{Er} / T_{1/2} = 19,5 \text{ мин}$ /.

Полоса основного состояния

Как указано выше, из исследований ядерных реакций известны уровни с J^π до 6^+ ; не обнаружен переход 445 кэВ/ $8^+ \rightarrow 6^+$ /, наблюдаемый в ядерных реакциях.

Полоса с $K^\pi = 0^+$

При β -распаде ^{156}Ho наблюдаются уровни 675,9 кэВ/ 0^+ O /; 828,9 кэВ/ 2^+ O /; 1088,5 кэВ/ 4^+ O / и 1437,6 кэВ/ 6^+ O /. С уровня 675,9 кэВ в основное состояние идет электрический монополюсный переход. Надежно установлена ЕО-компонента и в переходах с уровнями этой полосы на уровни вращательной полосы основного состояния с теми же спинами. Интересно отметить, что не наблюдались γ -переходы $2^+ 0 \beta \rightarrow 0^+ 0 \text{ gs}$, 828,9 кэВ и $6^+ 0 \beta \rightarrow 4^+ 0 \text{ gs}$, 1033,5 кэВ, хотя вычисленная по правилам Алаги их интенсивность превышает на два или один порядок, соответственно, предел точности наших измерений. Интенсивность перехода $4^+ 0 \beta \rightarrow 4^+ 0 \text{ gs}$, 950,5 кэВ также в ≈ 50 раз меньше, чем вычисленная по правилу Алаги с использованием интенсивности γ -перехода $4^+ 0 \beta \rightarrow 4^+ 0 \text{ gs}$, 684,4 кэВ. Значения величины $X = B(E0) / BE2$, вычисленные для первых четырех уровней этой полосы, даны в табл. 4. Полученные для разных уровней полосы $K^\pi = 0^+$

Таблица 4. Отношения приведенных вероятностей E0 и E2 с уровней полосы с $K^\Pi = 0^+$.

Уровень		$X = \frac{B(E0)}{B(E2)}$
J K^Π	E кэВ	
0 0^+	675,8	$0,08 \pm 0,03$
2 0^+	828,9	$0,10 \pm 0,03$
4 0^+	1088,5	$0,10 \pm 0,04$
6 0^+	1437,6	$(0,3 \pm 0,7)$ $0,15$

Таблица 5. Сравнение экспериментальных и теоретических однофононных октупольных состояний в четно-четных изотопах диспрозия.

Ядро	$K^\Pi = 0^-$		$K^\Pi = 1^-$		$K^\Pi = 2^-$	
	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.
^{156}Dy	1,293	1,2	1,529	1,5	(1,218)	1,3
^{158}Dy		1,2		1,5		1,3
^{160}Dy		1,2	1,285	1,5	1,264	1,2
^{162}Dy	1,275	1,3		1,8	1,148	1,0
^{164}Dy		1,6		1,6	0,977	1,1

значения в пределах ошибок совпадают между собой. $X_{\text{ср}} \approx 0,1$ отличается от ожидаемого теоретического значения $X \approx 0,4$ для бета-вибрационных уровней и свидетельствует, по-видимому, о более сложной структуре первого возбужденного состояния 0^+ .

Уровни γ -вибрационной полосы

При распаде ^{156}Ho возбуждаются уровни 890,8 кэВ /2⁺/, 1022,3 кэВ /3⁺/, 1168,7 кэВ /4⁺/ и 1335,8 кэВ /5⁺/ этой полосы. Наблюдается 9 γ -переходов, связывающих γ -полосу с уровнями полосы основного состояния. Наблюдается несколько γ -переходов, размещенных нами внутри этой полосы. Для детального анализа свойств уровней γ -вибрационной полосы требуется более точное определение интенсивностей γ -переходов и их мультипольностей.

Коллективные уровни с отрицательной четностью

Энергии состояний, связанных с октупольными вибрациями остова ^{156}Dy , были рассчитаны В.Г.Соловьевым /20/. По результатам наших исследований распада ^{156}Ho , этим состояниям могут соответствовать уровни полосы с $K^\pi = 2^-$: 1219,2 /2⁻/, 1368,8 /3⁻/ и 1526,2 /2⁻/, уровень с $K^\pi = 0^-$ 1293,3 /1⁻/ и уровни полосы с $K^\pi = 1^-$: 1529,4 /1⁻/ и 1610,0 /3⁻/. Отношения приведенных вероятностей $B(E1)$ -переходов с этих уровней на уровни вращательной полосы основного состояния согласуются с указанными значениями K. В табл. 5 сравниваются экспериментальные и теоретические энергии октупольных колебаний в четно-четных изотопах диспрозия.

Рассмотренные выше ротационные полосы основного β^- , γ^- и октупольных колебательных уровней ^{156}Dy изображены на рис. 3. Нижние уровни вращательных полос с положительной четностью в четно-четных изотопах диспрозия изображены на рис. 4. Характерным является опускание уровней β^- -полосы в ^{156}Dy .

Другие возбужденные состояния ^{156}Dy

Пока мало экспериментальных данных для анализа структуры остальных уровней схемы рис. 2. Можно предположить, что уровни с энергиями 2089,5 кэВ /2⁺/,

$4^- 2661.3$
 $3^- 2517.5$
 $2^- 2409.6$
 $5^+ 2476.4$
 $4^+ 2307.8$
 $3^+ (2169.1)$
 $2^+ 2089.5$
 $K^\pi = 2^+$

$6^+ 1437.6$

$4^+ 1088.5$

$2^+ 828.7$

$0^+ 675.8$

β -vib

$6^+ 770.5$

$4^+ 404.3$

$2^+ 137.8$

$0^+ 0$

$156 Dy$

$5^+ 1335.8$

$4^+ 1168.7$

$3^+ 1022.3$

$2^+ 890.8$

γ -vib

$5^- 1526.2$
 $3^- 1368.8$
 $2^- (1219.2)$
 $K^\pi = 2^-$
 $3^- 1610.0$
 $1^- 1529.4$
 $1^- 1293.3$
 $K^\pi = 0^-$
 $K^\pi = 1^-$

Рис. 3. Ротационные полосы основного, β -, γ - и октупольных колебательных уровней $156 Dy$.

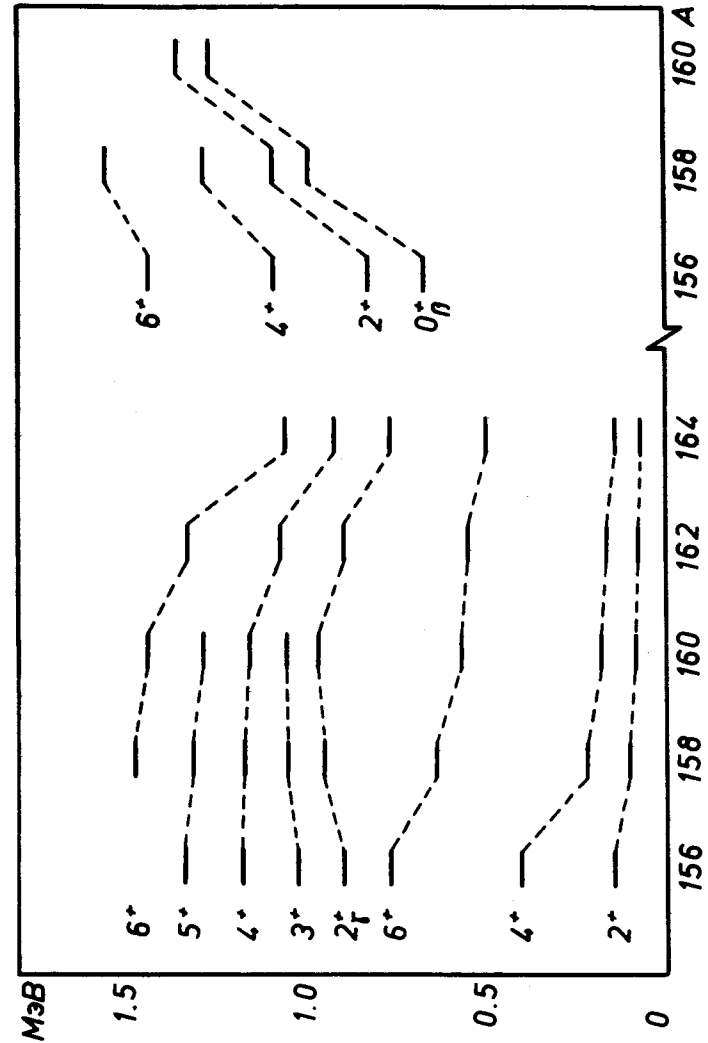


Рис. 4. Уровни вращательных полос с положительной четностью в четно-четных изолопах диспрозия.

2169,1 кэВ /3⁺/, 2307,8 кэВ /4⁺/ и 2476,4 кэВ /5⁺/ образуют полосу с $K^\pi = 2^+$. Уровни 2409,6 кэВ /2⁻/, 2517,5 кэВ /3⁻/ и 2661,3 кэВ /4⁻/ также могут принадлежать к одной вращательной полосе. Интересно заметить, что при исследовании распада ¹⁵⁶Ню имеется, вероятно, возможность обнаружить уровни ротационной полосы с большим моментом инерции, взаимодействие с которой, по предположению Шиманского и Крумлинде /21/, оказывает большое влияние на бэкбендинг-эффект во вращательных полосах основного и β -вибрационного состояний.

Авторы глубоко признательны И.И.Громовой, А.Лятушинскому, Ц.Вылову, М.И.Фоминых, В.И.Фоминых, Н.А.Лебедеву, Л.Черны, М.Яхиму за помощь и содействие при выполнении отдельных этапов этого исследования.

Литература

1. H. Marinaga, P. C. Gugelot. *Nucl. Phys.*, 46, 216 (1963).
2. T. Grottdal, K. Nybo, T. Thorsteinseu, B. Elbek. *Nucl. Phys.*, A110, 385 (1968).
3. H. Ryde, S. A. Hjorth, D. Barneond. *Nucl. Phys.*, A207, 513 (1973).
4. H. R. Andrews, D. Ward, R. L. Crahan, *Nucl. Phys.*, A219, 141 (1974).
5. R. M. Leider, H. Beuscher, W. F. Davidson. *Phys. Lett.*, 49B, 161 (1974).
6. А. С. Басина, К. Я. Громов, Б. С. Джеленов, В. А. Морозов. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 25, 194 /1961/.
7. Е. П. Григорьев, Б. С. Джеленов. *ДАН СССР*, 135, 564 /1960/.
8. P. Lagorde, J. Treherne, A. Gison, J. Valentin. *Journ. de Physique*, 27, 116 (1966).
9. Ж. Т. Желев, В. Г. Калинин, А. В. Кудрявцева, Н. А. Лебедев, С. П. Макаров, Г. Музиоль, Э. Херрманн. *Препринт ОИЯИ, Р-2196*, Дубна, 1965.
10. S. Ekström, T. Noreland, M. Olmats, B. Wannenberg. *Nucl. Phys.*, 288, A135 (1969).
11. H. Schepers. *Report K 70-30, Bonn* (1970).
12. А. А. Абдуразаков, К. Я. Громов, Ж. Т. Желев, У. К. Назаров, С. С. Сабиров, Я. Стычень. *Программа и тезисы XIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. ч. 1, стр. 114*, "Наука", Ленинград, 1969.
13. А. А. Абдуразаков, К. Я. Громов, У. К. Назаров, С. С. Сабиров, Я. Стычень, Ж. Т. Желев. *Международный симпозиум по структуре ядра. Дубна, Сообщения участников. Препринт ОИЯИ, Д-3893, стр. 32*, Дубна, 1968.

14. К. Я. Громов, К. Зубер, Я. Зубер, В. В. Кузнецов, А. В. Потемпа, А. Тохмогбаяр. *Ядерная спектроскопия и теория ядра. Препринт ОИЯИ, Дб-5883, стр. 132*, Дубна, 1971.
15. К. Я. Громов, К. Зубер, Я. Зубер, В. В. Кузнецов, А. В. Потемпа. *Программа и тезисы XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. ч. 1, стр. 119*. "Наука", Ленинград, 1972.
16. А. Лятушински, К. Зубер, Я. Зубер, А. Потемпа, В. Жук. *Препринт ОИЯИ, б-7469*, Дубна, 1973.
17. G. Bayer, E. Herrmann, A. Piotrowski, V. I. Raiko, H. Tyrroff. *Nucl. Instr. & Meth.*, 96, 347 (1971).
18. А. А. Абдуразаков, А. И. Ахмаджанов, К. Я. Громов, Т. А. Исламов, Ш. М. Комалходжаев, М. К. Прокофьев. *Препринт ОИЯИ, Рб-4363*, Дубна, 1969.
19. А. А. Александров, Г. - Ю. Байер, Ц. Вылов, П. Галан, М. Гонусек, В. М. Горожанкин, К. Я. Громов, Р. Ион-Михай, В. Г. Калинин, В. В. Кузнецов, Н. З. Марупов, Т. М. Муминов, М. Яхим. *Препринт ОИЯИ, Рб-8154*, Дубна, 1974.
20. В. Г. Соловьев. *Структура сложных ядер. стр. 433*, "Наука", 1971.
21. J. Krumlinde. *Nucleonica*, 19, 251 (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
13 января 1975 года.