

О РАСПАДЕ ^{156}Ho ON THE DECAY OF ^{156}Ho

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

Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем, Дубна**

(Поступила в редакцию 18 февраля 1975 г.)

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 and parity ^{156}Ho are suggested.

1. Введение

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) наблюдались уровни ротационных полос: основного состояния до $I^\pi K = 20^+0$, γ -вибрационного состояния до $I^\pi K = 9^+2$, β -вибрационного состояния до $I^\pi K = 22^+0$ и ряд других возбужденных состояний. В [4-5] обнаружены аномалии в энергетических интервалах между уровнями ротационных полос основного и β -вибрационного состояния (бэкбендинг-эффект).

Уровни ^{156}Dy возбуждаются также и при бета-распаде ^{156}Ho . Однако распад ^{156}Ho до сих пор был изучен относительно слабо. В [6-8] было показано, что при распаде ^{156}Ho ($T_{1/2} = 55 \pm 1$ мин) возбуждаются уровни ротационной полосы основного состояния до $I^\pi K = 6^+0$. Желев и др. [9] наблюдали при распаде ^{156}Ho позитроны с граничной энергией 3,0 МэВ. Экстрем и др. в [10] измеряли спин ^{156}Ho и получили значение $I = 1$. В сообщениях [11-12] предполагались варианты схемы распада ^{156}Ho .

Излучение, возникающее при распаде ^{156}Ho изучалось в нашей лаборатории в течение нескольких лет. Предварительные результаты этих исследований были опубликованы [14-15].

* Permanent address: Instytut Fizyki Jądrowej, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland.

** Address: Joint Institute for Nuclear Research, Head Post Office, P.O. Box 79, Moscow, USSR.

2. Условия экспериментов. Результаты

Источники ^{156}Ho мы получали при облучении танталовой мишени протонами с энергией ~ 660 МэВ на синхротроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Использовано два метода приготовления источников. В первом мишень облучалась на внутреннем протонном пучке ($i_p = 2,3$ 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 ($i_p = 0,2$ мкА), в ионный источник масс-сепаратора. Мишень разогревалась в ионном источнике, редкоземельные элементы диффундировали в объем ионизатора и разделялись по изобарам. Этот метод подробно описан в [16]. При сепарации изотопов в обоих случаях использован ионный источник с поверхностной ионизацией [17]. Примеси других изотопов в источниках ^{156}Ho , полученных обоими методами оценивались и были меньше $0,1\%$.

Спектры γ -лучей исследовались с помощью спектрометров с Ge(Li)-детекторами с чувствительным объемом $2,7\text{ см}^3$ и 40 см^3 с энергетическим разрешением $0,7\text{ кэВ}$ для ^{57}Co и $2,5\text{ кэВ}$ для ^{60}Co , соответственно. Спектры γ - γ -совпадений изучались с помощью двух Ge(Li)-детекторов объемом 27 см^3 и 40 см^3 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 см^2 .

Спектры конверсионных электронов исследовались на β -спектрографах с постоянным однородным магнитным полем [18] при разрешающей способности $\sim 0,05\%$. В качестве источников в этих измерениях использовалась сумма всех изотопов гольмия, химически выделенного из танталовой мишени. Точность определения относительных интенсивностей конверсионных электронов мы оцениваем на 10% для $I_K \geq 5$ и в переходах 20 – 50% для $I_K < 5$.

Результаты анализа спектров γ -лучей и конверсионных электронов представлены в таблице I. Для калибровки γ -лучей по энергиям и относительным интенсивностям использовались источники γ -лучей с известными энергиями и относительными интенсивностями — ^{169}Yb , ^{152}Eu , ^{56}Co , ^{182}Ta . В скобках при I_γ даны статистические 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 $\sim 10\%$ при $E_\gamma < 500$ кэВ и 5% при $E_\gamma > 500$ кэВ. Для большинства γ -переходов в области до 1300 кэВ измерены относительные интенсивности электронов внутренней конверсии и определены значения α_K . Выводы о мультипольности γ -переходов даны в последнем столбце таблицы I. На рис. 1 экспериментальные значения α_K для ряда переходов сравниваются с расчетными для разных мультиполей. Измеренные отношения ин-

ТАБЛИЦА I

Энергии и интенсивности γ -лучей и конверсионных электронов при распаде ^{156}Ho

$E_\gamma(\Delta E_\gamma)$ кэВ	$I_\gamma(\Delta I_\gamma)$	I_K	$\alpha_K \times 10^3$	Мультипольность
1	2	3	4	5
137,80(8)	1000	450	450	E2
266,55(10)	1071(11)	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(11)	0,07	44	
638,25(98)	2,4(11)			
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
691,08(15)	84,6(13)	3,00	36	E0+E2
715,11(42)	2,4(4)	0,03	12	M1
753,16(23)	30,5(18)	0,20	6,5	E2(+M1)
755,42(34)	13,9(11)	0,04	2,9	E1, (E2)
764,42(16)	69,5(7)	0,50	7,2	M1
796,20(20)	11,3(4)			
818,00(90)	5,5(9)	0,05	9,1	M1
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	M1
880,46(34)	6,6(8)	0,050	7,6	M1
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

ТАБЛИЦА I, (продолжение)

1	2	3	4	5
912,54(42)	2,0(4)	0,005	2,5	E2
920,76(83)	1,4(6)	0,007	5	M1
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	M1 + (E2)
1050,85(44)	2,0(5)	0,010	5,0	M1
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
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
1297,53(29)	7,5(5)			
1301,96(20)	32,1(6)			
1309,89(26)	7,6(6)			
1315,41(29)	6,3(5)			
1321,10(40)	3,1(5)			
1332,91(43)	2,4(5)			
1338,64(21)	12,0(5)			
1348,83(95)	1,0(8)			
1355,10(38)	3,7(7)			
1364,72(49)	1,8(4)			
1381,37(28)	6,4(7)			

ТАБЛИЦА I, (продолжение)

1	2	3	4	5
1387,11(29)	6,7(8)			
1391,80(21)	16,0(8)			
1397,43(35)	4,6(7)			
1407,17(91)	1,6(7)			
1416,89(16)	22,1(4)			
1423,77(20)	7,4(4)			
1433,95(25)	10,3(7)			
1454,00(22)	21,2(14)			
1460,55(74)	2,9(13)			
1472,29(21)	21,7(8)			
1479,41(38)	6,6(8)			
1485,21(70)	2,7(8)			
1495,39(26)	7,4(7)			
1500,53(26)	6,7(7)			
1518,82(38)	4,4(6)			
1525,25(32)	6,8(7)			
1529,37(25)	13,1(8)			
1536,99(36)	5,7(8)			
1542,24(49)	51,(8)			
1545,87(30)	10,6(8)			
1565,04(45)	2,8(5)			
1573,05(90)	1,0(4)			
1583,20(87)	1,4(5)			
1597,60(46)	2,4(3)			
1601,42(59)	1,6(3)			
1609,11(60)	1,4(3)			
1626,96(61)	1,8(3)			
1630,65(97)	0,8(3)			
1635,38(29)	6,8(5)			
1643,48(47)	2,4(3)			
1650,38(23)	18,4(4)			
1656,52(33)	5,4(3)			
1663,71(30)	7,0(4)			
1668,27(37)	4,4(4)			
1681,68(80)	1,9(7)			
1685,39(65)	3,0(8)			
1689,71(80)	1,5(7)			
1706,13(73)	2,0(5)			
1730,60(44)	4,9(9)			
1735,60(39)	8,0(9)			
1758,29(70)	3,5(9)			
1761,45(80)	3,0(9)			
1792,00(47)	4,5(4)			
1796,18(46)	4,6(4)			
1801,37(95)	1,0(4)			
1814,43(95)	0,9(4)			
1825,98(52)	6,2(7)			

ТАБЛИЦА I, (продолжение)

1	2	3	4	5
1841,91(86)	1,4(3)			
1844,49(75)	1,7(3)			
1861,57(41)	6,8(2)			
1866,76(75)	1,4(3)			
1869,91(73)	1,6(3)			
1875,04(61)	1,9(2)			
1891,04(60)	3,0(5)			
1899,76(64)	3,9(6)			
1903,84(61)	4,8(6)			
1908,92(63)	3,2(5)			
1921,34(67)	2,9(5)			
1931,57(66)	2,6(4)			
1952,84(62)	2,9(4)			
1962,42(95)	1,9(8)			
1969,66(58)	5,1(9)			
1989,96(95)	2,1(9)			
1993,75(95)	1,3(9)			
2005,24(72)	2,4(5)			
2015,07(66)	2,9(5)			
2026,95(61)	4,0(6)			
2031,06(42)	18,8(8)			
2036,22(42)	14,4(8)			
2042,45(59)	3,3(6)			
2053,44(46)	12,8(7)			
2063,88(61)	4,9(7)			
2075,46(66)	3,0(5)			
2078,64(95)	1,4(9)			
2086,16(73)	6,6(12)			
2089,10(95)	3,1(13)			
2101,62(71)	1,7(3)			
2136,04(85)	2,0(5)			
2169,85(65)	3,1(4)			
2209,2(9)	1,9(7)			
2216,6(9)	1,7(7)			
2234,3(5)	14,6(8)			
2238,0(6)	5,3(7)			
2270,9(5)	8,1(4)			
2277,4(6)	3,7(5)			
2286,3(9)	1,5(4)			
2301,6(6)	3,0(6)			
2306,6(6)	3,0(6)			
2321,2(7)	1,5(2)			
2327,5(6)	2,2(3)			
2339,0(9)	1,3(4)			
2349,3(9)	1,5(7)			
2353,4(4)	10,0(8)			
2365,1(6)	2,9(6)			

ТАБЛИЦА I, (продолжение)

1	2	3	4	5
2368,9(8)	2,1(6)			
2373,9(6)	3,4(6)			
2398,1(8)	1,4(4)			
2404,7(6)	2,0(4)			
2413,0(5)	14,2(5)			
2417,8(5)	29,3(6)			
2428,0(5)	3,5(4)			
2434,2(6)	2,1(4)			
2451,0(6)	2,4(5)			
2480,3(4)	2,1(5)			
2485,9(8)	1,6(6)			
2489,5(5)	2,6(5)			
2570,8(5)	3,7(6)			
2575,2(5)	3,4(6)			
2580,1(7)	3,4(5)			
2589,4(7)	1,9(5)			
2610,5(6)	1,9(3)			
2724,8(7)	1,7(3)			
2753,8(5)	2,7(2)			
2820,6(8)	0,5(2)			
2825,3(8)	1,2(3)			
2890,8(7)	2,2(3)			
2893,4(6)	1,0(3)			
3270,6(7)	1,4(2)			

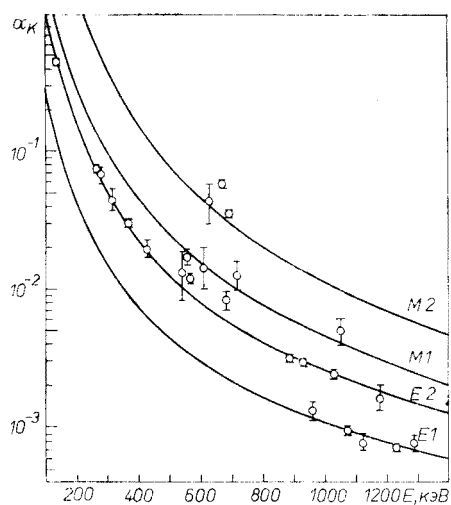


Рис. 1. Теоретические кривые для разных мультипольностей и экспериментальные значения α_K для ряда γ -переходов в ^{156}Dy

ТАБЛИЦА Ia

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

E_γ (кэВ)	Относительные интенсивности* линий К.э.	Возможное размещение в схеме распада рис. 2	Полная интенсивность перехода
61,7	$L_{II} \sim 3$ $L_{III} \sim 3$	$2^+_7 \rightarrow 2^+_0$ 890 $\rightarrow$ 828	7,5
80,2	$L_{II} \sim 2$ $L_{III} \sim 2$	$4^+_7 \rightarrow 4^+_0$ 1168 $\rightarrow$ 1088	6
131,7	$K \sim 0,9$	$3^+_7 \rightarrow 2^+_7$ 1022 $\rightarrow$ 890	10
146,4	$K \sim 0,5$	$4^+_7 \rightarrow 3^+_7$ 1168 $\rightarrow$ 1022	2
152,8	$K \sim 0,7$	$2^+_8 \rightarrow 0^+_8$ 828 $\rightarrow$ 675	3
167,0	$K \sim 2$	$5^+_7 \rightarrow 4^+_7$ 1336 $\rightarrow$ 1169	10

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

ТАБЛИЦА II

γ - γ -совпадения при распаде ^{156}Ho

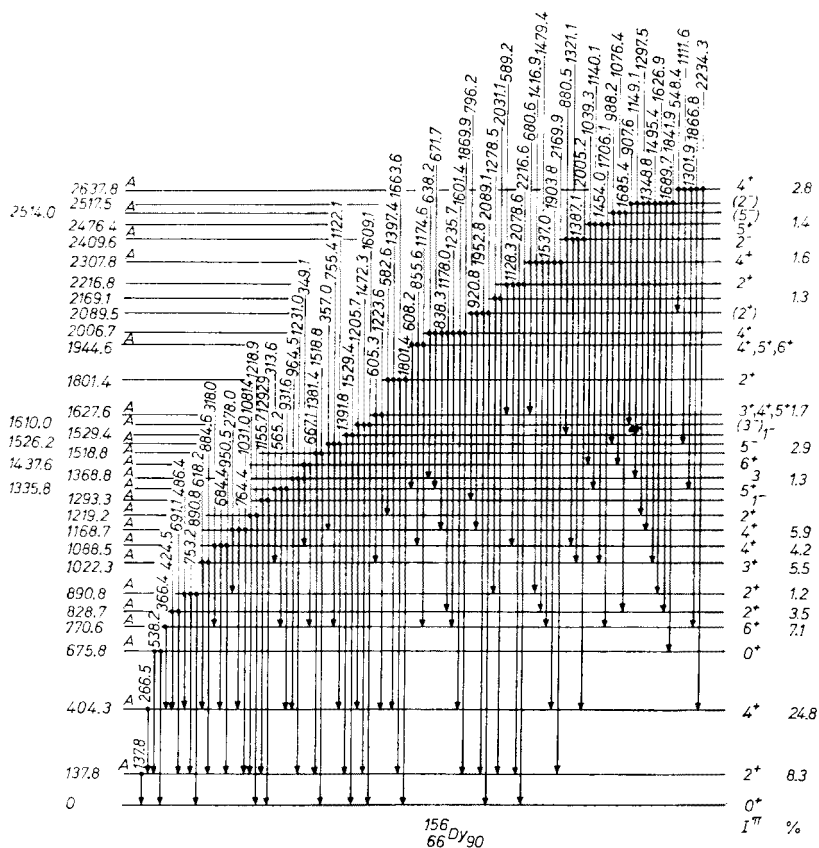
Окно (E_γ кэВ)	γ -переходы в совпадении
137,8	266,5; 366,4; 538,2; 565,2; 618,1; 671,7; 691,1; 753,2; 755,4; 764,4; 884,6; 931,6; 964,5; 1031,0; 1081,4; 1122,1; 1155,7; 1223,6; 1231,0; 1381,4; 1472,3
266,5	137,8; 349,1; 366,4; 424,5; 618,1; 671,7; 684,4; 755,4; 764,4 931,6 964,5; 988,2; 1122,1; 1223,6;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

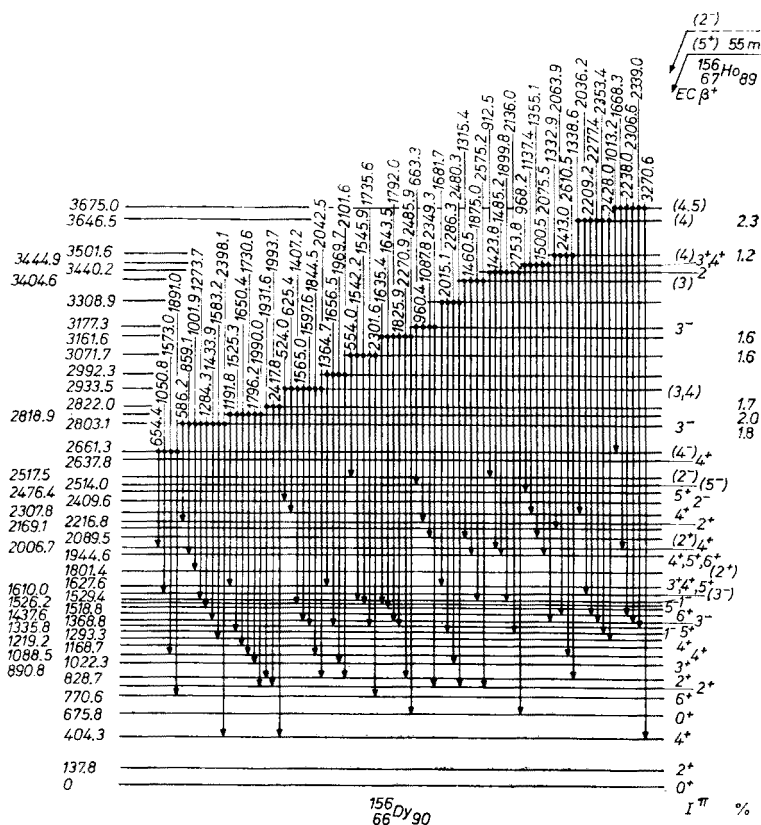
тенсивностей L_I , L_{II} и L_{III} линий конверсионных электронов γ -переходов 137,8 кэВ, 266,5 кэВ и 368,4 кэВ однозначно определяют их мультипольность E2. Несколько γ -переходов, которые могут быть отнесены к распаду ^{156}Ho , обнаружены только в спектрах конверсионных электронов. Сведения об этих переходах даются в таблице Ia. В таблице II даны результаты изучения спектров γ - γ -совпадений при распаде ^{156}Ho .

3. 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. II). Уровни, введенные на основе изучения спектров γ - γ -совпадений (их 22), отмечены на рис. 2а буквой А. Далее, на основе анализа общих сумм-разностей 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 реакции [1-5].

В предлагаемой схеме распада ^{156}Ho размещено 176 γ -переходов из 209 наблюдавшихся в γ -спектре. Интенсивность 33 неразмещенных γ -переходов составляет около 2% интенсивности всех γ -переходов ^{156}Ho (100 единиц таблицы I) или около 5% всех распадов ^{156}Ho , если принять за 100% распада ^{156}Ho сумму интенсивностей γ -переходов в основное состояние ^{156}Dy .

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

Рис. 26. Высокоэнергетическая схема распада ^{156}Ho 4. 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^+ при распаде ^{156}Ho (55 мин) не возбуждается, т.к. мы не наблюдали перехода $8^+ \rightarrow 6^+$ с энергией 449 кэВ. Его интенсивность $< 0,5$ единиц таблицы I. Среди введенных нами уровней нет ни одного со спином большим 6. Таким образом $I^\pi = 9^+$ для основного состояния ^{156}Ho исключается. В таблице III 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 $E_{\text{пр}} = 3,0$ МэВ [9] идет на уровень 409,4 кэВ (4^+). Из таблицы II видно, что большая часть распадов ^{156}Ho происходит на уровни со спинами 4^+ , 5^+ и 6^+ . Это приводит к заключению, что основное состояние ^{156}Ho (55 мин) имеет значение спина и четности $I^\pi = 5^+$. Это заключение находится в противоречии с измерениями

ТАБЛИЦА III

Уровни ^{156}Dy заселяемые при распаде ^{156}Ho

$I^\pi K$	$E_{\text{уровня}}$ кэВ	Интенсивность заселения уровня в β^+ -распаде*	$\lg ft$	$I^\pi K$	$E_{\text{уровня}}$ кэВ	Интенсивность заселения уровня в β^+ -распаде*	$\lg ft$
1	2	3	4	1	2	3	4
2 ⁺ 0	137,8	10,3 ± 13,0	—	2 ⁺	2216,8	0,03	8,6
4 ⁺ 0	404,3	24,8 ± 6,7	6,2 ± 0,1	4 ⁺	2307,8	1,6 ± 0,2	6,9 ± 0,1
0 ⁺ 0	675,8	0,0025	10,1	2 ⁻	2409,6	0,9 ± 0,2	7,1 ± 0,1
6 ⁺ 0	770,6	7,1 ± 1,3	6,7 ± 0,1	4 ⁺ 5 ⁺	2476,4	1,4 ± 0,3	6,8 ± 0,1
2 ⁺ 0	828,7	3,5 ± 0,6	7,0 ± 0,1	(5 ⁻)	2514,0	0,5 ± 0,1	7,3 ± 0,1
2 ⁺ 2	890,8	1,2 ± 0,5	7,4 ± 0,2	(2 ⁻)	2517,5	0,9 ± 0,3	7,0 ± 0,2
3 ⁺ 2	1022,3	5,5 ± 0,7	6,7 ± 0,1	4 ⁺	2673,8	2,8 ± 0,2	6,4 ± 0,1
4 ⁺ 0	1088,5	4,2 ± 0,7	6,8 ± 0,1	(4 ⁻)	2661,3	0,5 ± 0,1	7,2 ± 0,1
4 ⁺ 2	1168,7	5,9 ± 0,3	6,7 ± 0,1	3 ⁻	2803,1	1,8 ± 0,2	6,6 ± 0,1
	1219,2	0,14 ± 0,18	8,25		2818,9	2,0 ± 0,2	6,5 ± 0,1
1 ⁻ 0	1293,3	0,06	8,7		2822,0	1,7 ± 0,2	6,6 ± 0,1
5 ⁺ 2	1335,8	0,8 ± 0,6	7,5 ± 0,6	(3,4)	2933,5	0,7 ± 0,2	6,9 ± 0,1
3 ⁻ 2	1368,8	1,3 ± 0,4	7,2 ± 0,3		2992,3	1,0 ± 0,2	6,7 ± 0,1
6 ⁺ 0	1437,6	0,7 ± 0,3	7,4 ± 0,2		3071,7	1,6 ± 0,2	6,5 ± 0,1
	1518,8	0,3 ± 0,1	7,9 ± 0,2		3161,6	1,6 ± 0,2	6,4 ± 0,1
5 ⁻ 2	1526,2	2,9 ± 0,4	6,9 ± 0,2	3 ⁻	3177,3	0,9 ± 0,3	6,6 ± 0,2
1 ⁻ 1	1529,4	0,1			3308,9	0,4 ± 0,2	6,9 ± 0,4
(3 ⁻ 1)	1610,0	0,7 ± 0,2	7,4 ± 0,2	(3)	3404,6	0,6 ± 0,2	6,6 ± 0,2
3 ⁺ 4 ⁺ 5 ⁺	1627,6	1,7 ± 0,2	7,1 ± 0,1		3430,2	0,8 ± 0,2	6,4 ± 0,1
(2 ⁺)	1801,4	0,5 ± 0,1	7,6 ± 0,1	3 ⁺ 4 ⁺	3444,9	1,0 ± 0,2	6,4 ± 0,1
5 ⁺ 6 ⁺	1944,6	0,014	9,0	(4 ⁺)	3501,6	1,2 ± 0,2	6,2 ± 0,1
4 ⁺	2006,7	0,012	8,7		3646,6	2,3 ± 0,1	5,8 ± 0,1
(2 ⁺)	2089,5	0,017	8,9	(4,5)	3675,0	0,8 ± 0,1	6,2 ± 0,1
	2169,1	1,4 ± 0,2	7,0 ± 0,1				

* Интенсивность 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%.

спина основного состояния ^{156}Ho ($T_{1/2} = 55$ мин) в [10] $I = 1$ и данными таблицы II о заметном заселении в прямом бета-распаде уровней с низкими значениями спина. Для более точной оценки интенсивности заселения уровня 137,8 кэВ ($I^\pi = 2^+$) при β -распаде ^{156}Ho мы провели опыты по $\gamma - \beta^+$ -совпадениям.

Результаты этих экспериментов показывают, что спектры позитронов, наблюдаемых при совпадении с γ -лучами 137,8 кэВ 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 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 [9] ($E_{\text{гр}\beta^+} = 3,0$ МэВ). Эти опыты позволяют заключить, что β -распад на уровень 137,8 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 (таблица Ia) с энергиями 61,7 и 131,5 кэВ так как указано в таблице, полностью снимает заселение в β -распаде уровней 828,7 кэВ (2^+0) и 890,8 кэВ (2^+2). Таким образом мы считаем, что основное состояние ^{156}Ho ($T_{1/2} = 55$ мин) имеет спин и четность 5^+ . Аналогичный вывод был сделан в недавно выполненной в нашей лаборатории работе [19] при исследовании распада ^{156}Er ($T_{1/2} = 19,5$ мин).

5. Полоса основного состояния

Как указано выше из исследований ядерных реакций известны уровни с I^π до 6^+ ; не обнаружен переход 449 кэВ ($8^+ \rightarrow 6^+$), наблюдаемый в ядерных реакциях.

6. Полоса с $K^\pi = 0^+$

При β -распаде ^{156}Ho наблюдаются уровни 675,8 кэВ, 0^+0 ; 828,7 кэВ, 2^+0 ; 1088,5 кэВ, 4^+0 и 1437,6 кэВ, 6^+0 . С уровня 675,8 кэВ в основное состояние идет электрический монополюсный переход. Надежно установлена Е0-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

ТАБЛИЦА IV

Отношение приведенных вероятностей Е0 и Е2 с уровней полосы с $K^\pi = 0^+$

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

$2^+0_\beta \rightarrow 0^+0_{gs}$, 828,7 кэВ и $6^+0_\beta \rightarrow 4^+0_{gs}$, 1033,3 кэВ, хотя вычисленная по правилам Алаги их интенсивность превышает на два или один порядок, соответственно, предел точности наших измерений. Интенсивность перехода $4^+0_\beta \rightarrow 2^+0_{gs}$ 950,5 кэВ также в ~ 50 раз меньше, чем вычисленная по правилу Алаги с использованием интенсивности γ -перехода $4^+0_\beta \rightarrow 4^+0_{gs}$, 684,4 кэВ. Значения величины $X = B(E0)/B(E2)$, вычисленные для первых четырех уровней этой полосы даны в таблице IV. Полученные для разных уровней полосы $K^\pi = 0^+$ значения в пределах ошибок

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

7. 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. Наблюдаются 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.

8. 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 $B(E1)$

ТАБЛИЦА V

Сравнение экспериментальных и теоретических энергий 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
^{156}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

переходов с этих уровней на уровни вращательной полосы основного состояния согласуются с указанными значениями K . В таблице V сравниваются экспериментальные и теоретические энергии октупольных колебаний в четно-четных изотопах диспрозия.

Рассмотренные выше ротационные полосы основного и 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 .

вни 2409,6 кэВ(2⁻), 2517,5 кэВ(3⁻) и 2661,3 кэВ(4⁻) также могут принадлежат к одной вращательной полосе. Интересно заметить, что при исследовании распада ¹⁵⁶Но 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. Феминых, 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**, (1968).
- [3] H. Ryde, S. A. Hjorth, D. Barneond, *Nucl. Phys.* **A207**, 513 (1973).
- [4] H. R. Andrews, D. Ward, R. L. Craham, *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. Джелепов, В. А. Морозов, *Изв. АН СССР, сер. физ.* **25**, 194 (1961).
- [7] Е. П. Григорьев, Б. С. Джелепов, *ДАН СССР* **135**, 564 (1960).
- [8] P. Lagorde, J. Treherne, A. Gison, J. Valentin, *J. de Phys.* **27**, 116 (1966).
- [9] Ж. Т. Желев, В. Г. Калинин, А. В. Кудрявцева, Н. А. Лебедев, С. П. Макаров, Г. Музиоль, Э. Херрмани, Препринт ОИЯИ Р-2196, Дубна 1965.
- [10] С. Ekström, T. Noreland, M. Olmats, B. Wanneberg, *Nucl. Phys.* **A135**, 288 (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. Сабилов, Я. Стычень, *Программа и тезисы XIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра*, ч. I, Наука, Ленинград 1969, стр. 144.
- [13] А. А. Абдуразаков, К. Я. Громов, У. К. Назаров, С. Сабилов, Я. Стычень, Ж. Желев, *Международный симпозиум по структуре ядра, Дубна, Сообщения участников*, Препринт ОИЯИ Д-3893, Дубна 1968, стр. 32.
- [14] К. Я. Громов, К. Зубер, Я. Зубер, В. В. Кузнецов, А. В. Потемпа, А. Тохтогбаяр, *Ядерная спектроскопия и теория ядра*, Препринт ОИЯИ Д6-5883, Дубна 1971, стр. 132.
- [15] К. Я. Громов, К. Зубер, Я. Зубер, В. В. Кузнецов, А. В. Потемпа, *Программа и тезисы XXII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра*, ч. I, Наука, Ленинград 1972, стр. 119.
- [16] A. Latuszynski, K. Zuber, J. Zuber, A. Potempa, W. Żuk, *Nucl. Instrum. Methods* **120**, 321 (1974).
- [17] G. Beyer, E. Herrmann, A. Piotrowski, V. I. Rayko, H. Tyrroff, *Nucl. Instrum. Methods* **96**, 347 (1971).
- [18] А. А. Абдуразаков, А. И. Ахмаджанов, К. Я. Громов, Т. А. Исламов, Ш. М. Камолходжаев, М. К. Прокофьев, Препринт ОИЯИ Р6-4363, Дубна 1969.
- [19] А. А. Александров, Г.-Ю. Байер, Ц. Вылов, Р. Ион-Михай, П. Галан, М. Гонусек, В. М. Горожанкин, К. Я. Громов, В. Г. Калинин, В. В. Кузнецов, Н. З. Марупов, Т. М. Муминов, М. Яхим, Препринт ОИЯИ Р6-8154, Дубна 1974.
- [20] В. Г. Соловьев, *Структура сложных ядер*, Наука, 1971, стр. 433.
- [21] J. Krumlinde, *Nukleonika* **19**, 251 (1974).