

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ41.16+С 341.26

A-465

P6 - 7897

2796/2-74

А.А.Александров, В.С.Бутцев, Ц.Вылов,
Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников,
Н.А.Лебедев

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ¹⁶⁰Но

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P6 - 7897

А.А.Александров, В.С.Бутцев, Ц.Вылов,
Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников,
Н.А.Лебедев

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ^{160}Ho

Направлено в Известия АН СССР

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Александров А.А., Бутцев В.С., Вылов Ц.,
Григорьев Е.П., Громов К.Я., Калинин В.Г.,
Лебедев Н.А.

P6 - 7897

Гамма-излучение ^{160}Ho

На внутреннем и выведенном пучках протонов синхроциклотрона ОИЯИ были получены изотопы ^{160}Er и ^{160}Ho . С помощью Ge(Li) - детекторов детально исследован спектр гамма-лучей ^{160}Ho . Обнаружено более 100 ранее неизвестных гамма-переходов. У большинства гамма-переходов установлены типы мультипольностей. Измерен коэффициент внутренней конверсии изомерного перехода ^{160m}Ho ($\alpha_{K60} = 2,0 \pm 0,6$). Не обнаружен приписываемый ^{160}Ho изомер с $T_{1/2} = 7$ мин, а для изомера с $T_{1/2} = 1$ час дана оценка выхода в реакции глубокого расщепления $\text{Ta} + p$.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Alexandrov A.A., Butsev V.S., Vylov Ts.,
Grigoriev S.P., Gromov K.Ya.,
Kalinnikov V.G., Lebedev N.A.

P6 - 7897

Gamma-Radiation of ^{160}Ho

^{160}Er and ^{160}Ho isotopes were obtained on the internal and extracted proton beams of the JINR synchrocyclotron. Using Ge(Li) detectors the ^{160}Ho γ -ray spectrum was studied in detail. For most of γ -transitions the types of multipolarities were determined. The internal conversion coefficient is measured for ^{160m}Ho ($\alpha_{K60} = 2.0 \pm 0.6$) transition. The isomer with $T_{1/2} = 7$ min, ascribed to ^{160}Ho , was not observed. The estimate of the yield in the reaction of deep splitting $\text{Ta} + p$ is given for an isomer having $T_{1/2} = 1$ hour.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

Результаты подробного изучения спектров гамма-лучей, электронов внутренней конверсии и γ - γ -совпадений ^{160}Ho были опубликованы в 1966-1970 гг. ^{/1-4/}. В этих работах выявлены основные черты распада обоих изомеров ^{160}Ho и характеристики уровней ^{160}Dy . Данные о распаде $^{160}\text{Tb} - ^{160}\text{Dy}$ собраны в работах ^{/5,6/}. Однако, для установления деталей структуры ^{160}Dy была недостаточна точность определения энергий, интенсивностей и мультипольностей гамма-лучей, в схеме были размещены только интенсивные переходы ^{160}Ho . Полная интенсивность неразмещенных переходов составляла несколько процентов, хотя число их было более 100. Критериями для определения места переходов в схеме могут быть равенства энергий различных каскадов гамма-переходов, интенсивности гамма-лучей и иногда их мультипольности.

УСЛОВИЯ ОПЫТА

В настоящих экспериментах существенно улучшены условия опытов по сравнению с предыдущими работами. Источники представляли собой равновесную смесь ^{160}Er и дочерних ^{160m}Ho и ^{160g}Ho . Изотопы были выделены хроматографическим методом из продуктов облучения тантала протонами с $E_p = 660 \text{ МэВ}$ и подвергнуты разделению на масс-сепараторе. Эта процедура обеспечила высокую чистоту препаратов. Все "лишние" линии в спектре имели фоновое происхождение и не были связаны с примесями в источнике.

Для измерений спектра гамма-лучей применялись $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы объемом 40 см^3 с разрешением $2,9 \div 3,5 \text{ кэВ}$ при энергии гамма-лучей 1 МэВ . В более ранних опытах разрешение составляло $4,5 \div 5,0 \text{ кэВ}$ при той же энергии. Для измерения мягкой области спектра использовались рентгеновские $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы объемом $0,3; 0,5$ и 1 см^3 с разрешением $600 \div 700 \text{ эВ}$ при энергии гамма-лучей 80 кэВ .

Большое внимание уделялось возможно более точному определению энергии γ -лучей. Для этого измерялся смешанный спектр ^{160}Ho и градуировочного препарата ^{56}Co . Из этого спектра определялись энергии наиболее интенсивных линий ^{160}Ho , которые затем служили вторичными реперами для определения энергий более слабых линий. Эта методика позволила уменьшить погрешность измерений энергий γ -лучей в области $1,5 \div 2,8 \text{ МэВ}$ до $0,1 \text{ кэВ}$, что в $10 \div 20$ раз меньше, чем в предыдущих опытах. Правильность этой оценки вытекает из совпадения энергий жестких γ -лучей, полученных по пикам полного поглощения и пикам вылета одного и двух аннигиляционных квантов. В этих же пределах совпадают энергии уровней, известных из результатов γ - γ -совпадений, если их определять по прямым и каскадным переходам. Для слабых γ -лучей погрешность составляет $0,5 \div 1,0 \text{ кэВ}$ и определяется, в основном, статистическим разбросом точек в спектре. Обработка спектров производилась с помощью ЭВМ "Минск-2", "БЭСМ-6" и "СДС-1604А".

Интенсивности γ -лучей определены в результате градуировки детекторов с помощью известных спектров ^{56}Co , ^{152}Eu , ^{182}Ta , ^{169}Yb и других. Ошибка в относительных интенсивностях сильных переходов не превышает 5% . При обработке тщательно учитывались возможные вклады от пиков вылета одного и двух аннигиляционных квантов (s.e.) и (d.e.), соответственно. Для этого были построены зависимости от энергии отношений площадей пиков вылета одного и двух аннигиляционных квантов к площади пика полного поглощения. Для всех γ -лучей проверялось выполнение этих отношений, что позволило выявить ряд новых линий в той части спектра,

куда попадают пики s.e. и d.e. от жестких γ -лучей. Для использованного детектора объемом 40 см^3 отношения составляют: $\text{s.e.}/p = 7,0 \cdot 10^{-2}$ для $E_\gamma = 2,2 \text{ МэВ}$ и $1,4 \cdot 10^{-1}$ для $E_\gamma = 2,7 \text{ МэВ}$; $\text{d.e.}/p = 2,8 \cdot 10^{-1}$ для $E_\gamma = 2,2 \text{ МэВ}$ и $5,1 \cdot 10^{-1}$ для $E_\gamma = 2,7 \text{ МэВ}$, где p - площадь пика полного поглощения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В табл. 1 приведены энергии и интенсивности γ -лучей, возникающих при распаде $^{160m}\text{Ho} + ^{160}\text{Ho}$, 30% из них наблюдалось впервые. Для переходов, энергии которых известны из распада ^{160}Tb , указаны наиболее точные значения из работы ^{/6/} и поставлена буква Т. Остальные значения являются результатами усреднения многих серий измерений ^{160}Ho .

Обнаружение более 100 новых переходов обусловлено более высокой разрешающей способностью спектрометров и разделением близких линий. Для жестких γ -лучей анализировались пики вылета одного и двух аннигиляционных квантов, что позволило разделить некоторые близко расположенные переходы. Так, для переходов $2630,9$ и $2633,6 \text{ кэВ}$ разделился пик вылета одного аннигиляционного кванта и особенно сильно разделился пик вылета двух аннигиляционных квантов, тогда как пик полного поглощения только несколько уширен. Наблюдаемый эффект связан с увеличением ширины линии при возрастании энергий. Использование детектора большого объема позволило обнаружить ряд слабых переходов.

Уточнение интенсивностей γ -лучей позволило впервые определить мультипольности около 50 переходов и уточнить мультипольный состав многих других. Данные о К-коэффициентах конверсии и мультипольностях приведены в табл. 1. Используются значения I_K из работы ^{/3/}. Обозначения E_1 , E_2 означают, что мультипольность перехода может быть E_1 или E_2 , а E_2 , M_1 - мультипольность E_2 , M_1 или их смесь. В большинстве случаев подтвердились предыдущие данные о мультипольностях переходов ^{/3,5/}.

Таблица I

Сведения о гамма-лучах, возникающих при распаде ^{160}Er - ^{160}Ho - ^{160}Dy .

$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})^a$	$J_{\gamma}(\Delta J_{\gamma})^a$	$d_{\gamma}(\Delta d_{\gamma}) \cdot 10^{3a}$	Мульти- поляри.	$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})^a$	$J_{\gamma}(\Delta J_{\gamma})^a$	$d_{\gamma}(\Delta d_{\gamma}) \cdot 10^{3a}$	Мульти- поляри.
1	2	3	4	1	2	3	4
60,0(1)	5,1(5)	2000(600)	E3	256,0(2)	<1,6	>20	-
82,9(1)	<2	-	-	282,5(2)	1,8(8)	45(3)	E2
86,788(2)T	≈1000	1500	E2	297,2(1)	80(5)	39(6)	E2
93,94(4)T	<2	-	-	297,9(1)	22(5)	20(10)	E1
107,98(9)	17(2)	1050(300)	E2, M1	298,57(2)T	74(5)	15(5)	E1
126,8(1)	3,4(8)	570(200)	E2	309,57(3)T	22(2)	12(4)	E1
163,2(1)	2,3(8)	-	-	337,30(4)T	7(3)	-	-
189,7(1)	<4	>3	-	363,87(1)	10(3)	40(15)	E2
197,04(2)T	1000(30)	164(16)	E2	390,4(2)	<3	>10	-
215,65(2)T	10(2)	25(10)	E1	392,49(3)T	26(2)	7(2)	E1
234,8(2)	3(1)	150(80)	E2, M1	405,73(5)	22(2)	24(4)	E2
236,4(2)	<3	>15	-	446,66(8)	10(5)	-	-
239,0(2)	5(1)	100(50)	E2	466,1(3)	<7	>3	-

продолжение таблицы I

1	2	3	4	1	2	3	4
468,4(3)	<7	>5	-	620,4(5)	5(2)	7,6(39)	E2
469,9(3)	10(4)	2,5(15)	E1	630,3 [#] (7)	4(1)	-	-
490,4(3)	5(3)	25(15)	E2, M1	636,9 [#] (3)	2(1)	-	-
491,9(6)	5(2)	7(3)	E1	641,8 [#] (2)	21(5)	2,9(14)	E1, E2
494,6(3)	12(3)	4(3)	K1	645,40(7)	1160(46)	6,9(14)	E2
513,47(4)	100(10)	11,5(20)	E2	646,3(2)	220(11)	6,9(20)	E2
538,56(1)	280(10)	12(3)	E2	654,4 [#] (7)	7(2)	-	-
545,9(2)	<7	-	-	665,7 [#] (5)	10(2)	-	-
555,4 [#] (4)	10(5)	-	-	682,33(5)T	27(3)	6,3(15)	E2
558,5 [#] (4)	10(5)	-	-	703,6(5)	<5	>10	-
564,4 [#] (6)	3(1)	-	-	707,6(1)	32(5)	5,3(15)	E2
575,42(6)	11(3)	-	-	712,8 [#] (9)	4(2)	-	-
583,26(8)	10(3)	-	-	728,18(1)	2200(70)	5,1(4)	E2
596 (1)	5(3)	-	-	753,11(2)	200(10)	4,9(7)	E2
606,6 [#] (2)	9(3)	-	-	758,2 [#] (3)	34(5)	-	-
609,3 (6)	11(3)	-	-	765,30(5)T	260(13)	4,6(6)	E2
612,2(5)	4(2)	-	-	773,0(2)	10(2)	-	-

продолжение таблицы I

I	2	3	4	I	2	3	4
791,8 [*] (3)	10(2)	-	-	941,0(1)	27(4)	2,3(10)	E2
802,5(6)	<5	>0,5	-	946,3 [*] (3)	4(1)	-	-
815,4 [*] (1)	7(2)	-	-	962,36(6)T	1300(50)	2,7(2)	E2
826,23(6)	62(5)	1,8(4)	E1	966,17(3)T	1200(50)	2,8(2)	E2
827,6(6)	<16	-	-	975,9 [*] (1)	4(1)	-	-
838,7(7)	4(1)	5,1(30)	E2,MI	987,1(3)	4(1)	2,5(15)	E2
843,6(5)	15(3)	2,2(I)	E1,E2	989,7(I)	7(2)	-	-
853,8(6)	10(3)	<1,7	E1	994,4(2)	4(1)	-	-
856,9(I)	36(4)	1,6(5)	E1,E2	1002,89(6)T	14(3)	1,1(6)	E1
872,03(6)T	440(20)	3,1(4)	E2	1004,67(3)	136(10)	2,3(3)	E2
879,37(3)T	1450(58)	3,3(2)	E2	1018,5 [*] (2)	5(2)	-	-
900,7 [*] (2)	3(1)	-	-	1030,9(2)	5(2)	-	-
905,1(I)	12(3)	2,6(10)	E2	1039,7(5)	8(4)	2,4(13)	E2
907,3 [*] (4)	4(1)	-	-	1047,8(1)	57(6)	2,9(5)	E2
912,3(2)	4(1)	-	-	1058,4 [*] (1)	1,9(9)	-	-
914,2 [*] (3)	5(1)	-	-	1062,5 [*] (3)	5(2)	-	-
921,7 [*] (1)	4(1)	-	-	1067(1)	<21	-	-
936,0(2)	7(2)	2,8(II)	E2	1069,07(6)T	190(10)	2,4(4)	E2

продолжение таблицы I

I	2	3	4	I	2	3	4
1077,3 [*] (1)	4(2)	-	-	1199,0(3)	78(15)	0,66(8)	E1
1082,9(1)	6(2)	0,7(4)	E1	1199,89(4)T	62(12)	0,60(7)	E1
1090,2(2)	12(2)	-	-	1201,0(5)	6(2)	-	-
1095,0(1)	21(2)	-	-	1208,3 [*] (5)	4,0(8)	-	-
1102,59(5)T	10(2)	-	-	1210,1(7)	<4	>0,5	-
1112,6(2)	28(5)	-	-	1216,9(1)	8,5(17)	0,5(3)	E1
1115,12(4)T	23(3)	0,3(3)	E1	1220,2 [*] (2)	3,0(20)	-	-
1122,1(I)	10(2)	-	-	1224,1(7)	<3	>1,3	-
1125,0(2)	10(2)	0,8(5)	E1	1229,8(7)	<3	>0,3	-
1130,66(6)	78(6)	2,0(6)	E2	1234,8(1)	19(2)	1,2(4)	E1,E2
1140,9(2)	3,8(19)	2,0(15)	E1,E2	1239,1(7)	<1	>0,8	-
1145,5(3)	5,7(17)	0,8(5)	E1	1240,9 [*] (1)	10(2)	-	-
1155,7(2)	11(3)	0,9(5)	E1	1244,2(1)	11(2)	-	-
1160,0(2)	5(2)	0,6(2)	E1	1249,4(3)	3(2)	-	-
1171,6(6)	16(3)	1,5(6)	-	1251,27(5)T	3(2)	-	-
1172,7(1)			-	1259,7(1)	4(2)	-	-
1174,8(1)	17(3)	-	-	1262,7(1)	22(2)	7,7(15)	E2+EO
1177,95(5)T	43(4)	0,6(3)	E1	1271,88(4)T	190(10)	0,79(12)	E1
1183,1(I)	16(3)	0,7(4)	E1	1274,0(4)	11(2)	-	-
1193,3(1)	13(3)	1,1(5)	E1,E2	1278,9(3)	5(2)	3,4(8)	MI

продолжение таблицы I

1	2	3	4	1	2	3	4
I281,0(3)	9,0(5)	-	-	I375,7(1)	20(3)	-	-
I285,64(2)	116(7)	0,64(15)	EI	I388,8(1)	12(2)	2,3(10)	E2, MI
I287,6(8)	14(3)	-	-	I396,5(1)	10(2)	1,9(5)	E2, MI
I298,5(4)	3,1(15)	-	-	I400,7(7)	}36(4)	-	-
I302,8(1)	12(2)	0,7(2)	EI	I402,4(1)		-	-
I305,0(1)	9(2)	-	-	I405,5(8)	<8	>0,5	-
I312,12(6)T	46(5)	0,50(15)	EI	I408,2(5)	}36(5)	-	-
I317,7(1)	12(2)	-	-	I409,9(5)		-	-
I320,9(3)	6(2)	1,4(4)	E2	I415,6(2)	6(2)	2,4(14)	E2, MI
I331,3(2)	10(2)	-	-	I419,0(1)	20(3)	1,2(8)	E,
I338,4(1)	14(3)	1,1(4)	E2	I421,1(8)	4(2)	2,1(12)	E2, MI
I341,5(10)	<8	>2	-	I428,5(1)	6(2)	-	-
I345,2(1)	18(3)	1,8(6)	E2, MI	I432,0(1)	59(5)	1,6(3)	E2, MI
I350,2(2)	19(3)	1,3(1)	E2	I433,7(8)	}10(2)	-	-
I357,4(5)	5(2)	-	-	I435,7(1)		-	-
I359,4(2)	12(2)	0,9(4)	EI, E2	I438,7(2)	14(2)	2,2(7)	E2, MI
I367,2(1)	11(2)	-	-	I441,5(7)	<7	-	-
I369,8(1)	}60(5)	-	-	I444,0(1)	5(2)	1,9(8)	E2, MI
I370,8(7)		-	-	I449,3*(3)	2,6(16)	-	-

продолжение таблицы I

1	2	3	4	1	2	3	4
I452,5*(3)	2(1)	-	-	I611,2(8)	<7	-	-
I465,2(1)	8(2)	2,0(8)	E2, MI	I619,4*(3)	11(2)	-	-
I468,6(8)	7(3)	1,2(6)	EI, E2	I621,5(3)	13(2)	-	-
I473,3(1)	41(6)	0,95(25)	EI, E2	I635,9(1)	2,3(16)	-	-
I481,6(2)	6(2)	1,0(8)	E, E2	I655,1*(4)	6,2(18)	-	-
I489,8(1)	18(3)	0,56(20)	EI	I664,9(1)	23(3)	0,5(2)	EI
I502,7*(1)	5(2)	-	-	I670,3(1)	22(3)	0,9(3)	E2
I509,9*(3)	1,9(9)	-	-	I695,1(1)	8(2)	0,4(2)	EI
I518,7(2)	12(2)	1,5(4)	E2, MI	I698,2*(1)	2,5(15)	-	-
I526,0(5)	1,4(8)	-	-	I717,7(2)	50(6)	0,9(2)	E2
I547,3*(3)	1,2(6)	-	-	I731,6(1)	7(2)	0,8(3)	E2
I556,6(1)	8(2)	-	-	I755,2*(6)	1,8(9)	-	-
I561,5*(6)	1,6(9)	-	-	I764,5(3)	5(2)	-	-
I566,2(1)	2,3(14)	-	-	I782,9(1)	22(3)	1,1(3)	E2, MI
I576,3(1)	2,8(14)	-	-	I804,9(1)	23(3)	1,3(4)	MI
I584,5(8)	<13	-	-	I816,4(1)	13(2)	1,1(3)	E2, MI
I586,3(1)	7,8(20)	-	-	I856,2*(3)	4(2)	-	-
I588,7*(4)	2,4(14)	-	-	I866,4(1)	7,4(19)	1,4(4)	E2, MI
I606,4(4)	7,7(20)	-	-	I869,9(2)	10(2)	1,5(7)	MI
I607,7(8)	<7	-	-	I873,1*(6)	3(2)	-	-

продолжение таблицы I

I	2	3	4	I	2	3	4
1919, I(I)	5(2)	I, I(5)	E2, MI	2101,5(3)	I,0(6)	-	-
1922,8(I)	3I(3)	-	-	2114,5 [#] (I)	I,7(9)	-	-
1925,3(8)	2,8(15)	I,0(3)	E2, MI	2124,3(I3)	<2	>0,8	-
1929,3(5)	3(2)	-	-	2139,0(I2)	<6	>0,3	-
1953 (I)	<0,4	>13	E0	2159,9(9)	<2	>0,1	-
1963,2 [#] (6)	I,9(16)	-	-	2169,1(3)	5(2)	0,5(I)	E2
1969,6 [#] (9)	I,4(10)	-	-	2176,2(8)	I,3(9)	-	-
1983,2(I)	10(2)	0,3(2)	EI	2180,6(I)	8(2)	-	-
1998, I(I)	10(2)	I,0(3)	E2, MI	2184,6(4)	44(4)	0,27(6)	EI
2002,5(I)	10(2)	0,6(4)	EI, E2	2190,7(I)	I,9(9)	-	-
2021,5(I0)	<3	>0,4	-	2204,4(2)	I,9(9)	-	-
2044, I(2)	5(2)	-	-	2218,0 [#] (I0)	<2	-	-
2051,3(I)	6(2)	0,9(5)	E2, MI	2227,0(I0)	<3	>0,13	-
2052,5 [#] (7)	I,8(15)	-	-	2231, I(2)	6,5(18)	-	-
2057,7 [#] (3)	2,2(16)	-	-	2236,5(I)	3,8(15)	0,08(3)	EI
2068,3(1)	35(3)	0,28(I0)	EI	2241,8 [#] (2)	2(I)	-	-
2077,9 [#] (I)	0,7(3)	-	-	2248,5 [#] (I0)	2(I)	-	-
2086,7(I)	18(3)	0,9(3)	MI, E2	2259,5 [#] (8)	2(I)	-	-
2091,0(5)	2(I)	-	-	2267,7(I)	3,6(15)	I,2(8)	E2, MI
2095,5(2)	2,6(14)	-	-	2273,5(15)	<2	>0,7	-

продолжение таблицы I

I	2	3	4	I	2	3	4
2283,1 [#] (9)	2(I)	-	-	2425,3 [#] (5)	2,3(14)	-	-
2288,6(3)	3, I(2)	0,6(3)	E2	2428,2(9)	<I	-	-
2296,7 [#] (9)	2(I)	-	-	2433,0(2)	6(2)	-	-
2300,2 [#] (7)	3(I)	-	-	2436,2(3)	5(2)	0,13(7)	EI
2302,2 [#] (7)	3(I)	-	-	2438,7 [#] (5)	5(2)	-	-
2304,9 [#] (7)	2(I)	-	-	2443,5 [#] (8)	<4	-	-
2308,9(5)	2(I)	-	-	2450,5(2);	7(2)	0,6(3)	E2, MI
2322,0(I2)	3,5(16)	0,5(3)	EI, E2	2461,0 [#] (9)	0,2(I)	-	-
2325, I(5)	I,7(9)	0,4(3)	EI, E2	2468,0(9)	<2	>0,3	-
2345,2(15)	<I,6	>0,2	-	2473,2(4)	I,9(16)	-	-
2352,6(4)	I,4(9)	-	-	2479,5(I)	5(2)	-	-
2355,0(5)	2,5(14)	I, I(5)	E2, MI	2487,6 [#] (I)	2,4(18)	-	-
2362,7(I)	7(2)	0,45(29)	EI, E2	2494,4(3)	6(2)	0,5(2)	E2, MI
2367,3 [#] (15)	<3	-	-	2504, I(I)	2,9(15)	0,28(18)	EI
2377,9 [#] (9)	<2	-	-	2516,0 [#] (4)	2,3(16)	-	-
2382,8(3)	4,2(16)	0,7(4)	E2, MI	2519,2(2)	0,7(6)	0,8(7)	E2, EI
2391,3(2)	3,0(15)	0,27(15)	EI	2530,0 [#] (9)	<I	-	-
2397,6(15)	<3	-	-	2537,3 [#] (I)	I,6(13)	-	-
2416,8(9)	I, I(8)	I,0(7)	E2, MI	2544, I(I)	90(5)	0,21(4)	EI

продолжение таблицы I

I	2	3	4	I	2	3	4
2549,3 ^{*(1)}	1,2(8)	-	-	2669,0 ^{*(3)}	8(2)	-	-
2560,1(1)	17(3)	0,28(8)	EI	2674,8(1)	110(10)	0,24(4)	EI
2570,5(1)	3,8(16)	-	-	2681,3(1)	5,4(20)	-	-
2574, (1)	20(2)	0,23(7)	EI	2686,5(1)	1,7(9)	-	-
2581,1(2)	2(1)	-	-	2694,4 ^{*(9)}	1,0(5)	-	-
2588, (1)	14(3)	0,18(7)	EI	2698,2(1)	4,1(16)	<0,3	-
2596,9 ^{*(5)}	2,3(15)	-	-	2701,4(1)	2,6(15)	-	-
2601,3 ^{*(5)}	2,2(15)	-	-	2717,7(1)	3,6(16)	<0,7	-
2609,4(1 ¹)	6(2)	-	-	2729,6 ^{*(5)}	0,2(1)	-	-
2614,5(1)	74(5)	0,21(4)	EI	2733,0 ^{*(9)}	<2	-	-
2617,7 ^{*(4)}	10(2)	-	-	2734,8(2)	12(2)	0,26(9)	EI
2621,7 ^{*(9)}	<2	-	-	2742,6 ^{*(1)}	1,9(5)	-	-
2630,8(4)	40(4)	0,21(4)	EI	2747,6(1)	1,0(8)	-	-
2633,6(4)	42(4)	0,22(4)	EI	2753,4 ^{*(8)}	0,8(5)	-	-
2643,4(1)	9(2)	-	-	2761,4(4)	1,2(8)	-	-
2648,2(1)	41(3)	0,25(10)	EI	2765,2(1)	12(2)	0,23(6)	EI
2653,0 ^{*(7)}	2,2(10)	-	-	2774,5 ^{*(7)}	0,6(4)	-	-
2657,6 ^{*(5)}	2,5(15)	-	-	2789 (2)	<0,6	-	-
2658,6 ^{*(2)}	2,0(9)	-	-	2809 (1)	<0,4	-	-

продолжение таблицы № I

I	2	3	4	I	2	3	4
2813 (2)	<0,6	-	-	2875,0 ^{*(9)}	0,4(2)	-	-
2817,0(8)	1,0(5)	1,2(8)	E2, MI	2889,0 ^{*(9)}	0,4(2)	-	-
2843,0 ^{*(9)}	0,2(1)	-	-	2895,5(9)	0,9(4)	0,57(30)	E1, E2
2851,4(5)	3,0(15)	0,32(16)	E1, E2	2916 (2)	<0,4	-	-
2860,6 ^{*(9)}	1,2(8)	-	-	2974,3(8)	0,4(1)	-	-
2865,9(9)	0,6(4)	-	-				

а) Ошибки энергий, интенсивностей и коэффициентов конверсии даны в единицах последнего знака.

* Требуется подтверждение существования перехода или уточнения его энергии и интенсивности.

ИЗОМЕРНЫЙ ПЕРЕХОД В ^{160}Ho

Изомер ^{160m}Ho расположен на 60 КэВ выше основного состояния и распадается как β -переходами на уровни ^{160}Dy , так и изомерным переходом в основное состояние. Доля изомерного перехода составляет 60% и определена по интенсивностям его L -конверсионных линий. Мультипольность была ранее определена по отношениям $M_1 - M_2(60)$ -конверсионных линий ^{/3/}. В нашей работе была использована возможность определения коэффициента конверсии $a_k(60)$, обусловленная высоким разрешением γ -спектрометра. Нам удалось разделить K_x -лучи Dy и Ho . В чистом источнике ^{160m}Ho K_x -лучи возникают только за счет K -конверсии γ -перехода 60 КэВ. Их отношение к γ -60 с учетом выхода флуоресценции дает величину K -коэффициента конверсии. Она оказалась равной $a_k(60) = 2,0 \pm 0,6$, что соответствует теоретическому значению $a_k(E3) = 2,0$. В проведенных опытах ^{160}Ho очень тщательно очищался от материнского ^{160}Er , в котором при электронном захвате также возникают K_x -лучи Ho . Для чистых препаратов ^{160m}Ho $K_{\alpha_{1,2}}$ -линии Ho составляли всего 10^{-3} от соседних $K_{\alpha_{1,2}}$ -линий Dy .

О СОСТОЯНИЯХ ^{160}Ho

Из интенсивностей рентгеновских лучей ^{160}Er и ^{160}Ho была определена энергия β -перехода $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$ $E_\beta = 280_{-70}^{+190}$ кэВ и энергия распада ^{160}Er $Q = 340$ кэВ ^{/7/}. β -переход идет на гипотетический уровень ^{160}Ho с $J^\pi = 1^+$, расположенный несколько выше изомерного состояния с $J^\pi = 2^-$. Поиски γ -перехода между уровнями 1^+ и 2^- пока не увенчались успехом и привели к оценкам его энергии, не превышающей 1,5 кэВ ^{/8/}. В работе ^{/9/} сообщалось, что гипотетический уровень 1^+ , на который идет распад ^{160}Er , сам испытывает электронный захват с $T_{1/2} = 7$ мин, заселяя уровни ^{160}Dy . Для проверки результатов работы ^{/9/} с помощью γ -спектрометров проводились поиски 7-минутного изомера. Было проведено 3 типа опытов.

1. Из ^{160}Er через 15 минут после его очистки от ^{160}Ho снова выделялся накопившийся ^{160}Ho и исследовалось уменьшение во времени интенсивности γ -линий с $E_\gamma > 2$ МэВ с помощью NaJ -детектора с одноканальным анализатором. Не было обнаружено 7-минутной компоненты в кривой распада. Верхний предел периода полураспада уровня 1^+ равен 2 мин. Не было также обнаружено 7-минутной компоненты в кривой нарастания интенсивностей линий в γ -спектре ^{160}Er , очищенном от дочернего ^{160}Ho .

II. Сравнивались измеренные на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе спектры γ -лучей $^{160}\text{Er} + ^{160m}\text{Ho}$ и ^{160m}Ho . Сопоставление, особенно тщательное при $E_\gamma = 1270$ кэВ/энергия перехода, замеченного в ^{/9/}, не выявило различия между ними. Если бы существовал 7-минутный изомер и происходил его β -распад, то в спектре $^{160}\text{Er} + ^{160}\text{Ho}$ должны были бы наблюдаться лишние линии.

III. На пучке протонов синхроциклотрона проводились короткие облучения Ta , быстрое выделение и сепарация изотопов Ho . В источнике ^{160}Ho не было обнаружено 7-минутной активности. Измерения проводились на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе.

Можно было ожидать, что в результате электронного захвата возбуждаются другие уровни ^{160}Ho . Для поисков соответствующих переходов в наших опытах использовался источник ^{160}Er сразу после его очистки от дочернего ^{160}Ho . Проводилось исследование спектра γ -лучей с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов в области 10-300 кэВ. Никаких "лишних" переходов не было обнаружено, верхний предел их интенсивности составляет 10^{-3} квантов на распад, если только они не попадают под рентгеновские линии. В спектрах отчетливо проявляются пики сложения рентгеновских лучей, но их интенсивность зависит от расстояния между детектором и источником, что помогает отличить их от пиков реальных γ -переходов.

В работе ^{/9/} сообщалось также об обнаружении 1-часового изомера ^{160}Ho с $J^\pi = 9^+$. Поиск этого изомера нами проводился с препаратами, полученными после сепарации по массам изотопов Ho . Время облучения составляло 20-30 минут, химическое выделение - $10 \pm$

±20 минут и сепарация—5 минут. Не было обнаружено каких-либо линий, интенсивность которых спадала бы с периодом $T_{1/2} = 1$ час. Оценки показывают, что интенсивность возможного γ -перехода 386 кэВ между уровнями 8^+ и 6^+ в полосе основного состояния ^{160}Dy составляет меньше 15% от интенсивности γ -перехода 392 кэВ, возникающего при распаде 5-часового ^{160}Ho . В предположении, что γ 386 кэВ составляет 10% от числа распадов 1-часового изомера, оказывается, что отношение выходов 1-часового ($J^\pi = 9^+$) и 5-часового ($J^\pi = 2^-$) изомеров в реакции глубокого расщепления протонами не превышает величины 10^{-3} . Наши оценки также показали, что выход 25-минутного изомера, $J^\pi = 5^+$, на порядок меньше, чем 5-часового.

Авторы выражают благодарность Н.А.Бонч-Осмоловской и Г.Штрусному, которые принимали участие в измерениях спектра γ -лучей на начальных этапах работы, а также А.Лятушинскому за приготовление препаратов Ho .

Литература

1. М.П.Авошина, Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, А.В.Золошавин, В.О.Сергеев. Изв. АН СССР, сер.физ., 30, 530 /1966/.
2. Н.А.Бонч-Осмоловская, Я.Врзал, Е.П.Григорьев, Я.Липтак, Г.Пфреппер, Я.Урбанец, Д.Христов. Изв. АН СССР, сер.физ., 32, 98 /1968/.
3. Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, Т.А.Исламов, В.Г.Калинников, У.К.Назаров, С.С.Сабиров. Изв. АН СССР, сер.физ., 33, 635 /1969/.
4. Е.П.Григорьев, И.Звольски, Н.А.Тихонов, В.И.Фоминих, Изв. АН СССР, сер.физ., 34, 2059 /1970/.
5. Е.П.Григорьев. Автореферат диссертации ЛГУ, Ленинград, 1971.
6. R.E.McAdams, O.H.Otteson. Z.Phys., 250, 359 (1972).
7. В.С.Бушцев, Ц.Вылов, К.Я.Громов, В.Г.Калинников. Изв. АН СССР, сер.физ., 37, 948 /1973/.
8. К.П.Аржамонова, А.А.Воронков, Е.П.Григорьев, А.В.Золошавин, В.О.Сергеев. Программа и тезисы докладов 24 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, стр. 115, М., "Наука", 1974.
9. H. Schepers. Report BMBN-FB, K70-30, Bonn (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1974 года.