

Г-874

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2497



К.Я. Громов, Ф.Н. Мухтасимов

О РАСПАДЕ  $^{159}\text{Ho}$

АЛБОРТОРНИА ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМА

1965

P-2487

3920/3 чр.

К.Я. Громов, Ф.Н. Мухтасямов

О РАСПАДЕ  $^{159}\text{Ho}$

Направлено в журнал "Ядерная физика"



Нижние возбужденные состояния деформированных ядер неплохо описываются на основе представлений об одноквазичастичных уровнях и связанных с ними ротационных полос. Представляет большой интерес получить экспериментальные данные об одночастичных уровнях возможно большего числа деформированных ядер. В настоящей работе изучался распад  $^{159}\text{Ho}$ . Об уровнях  $^{159}\text{Dy}$ , возбуждающихся при распаде  $^{159}\text{Ho}$ , известно немного. Распад  $^{159}\text{Ho}$  изучался в работах <sup>/1,2,3,4/</sup>. Абдуразакковым и др. <sup>/2,3/</sup> было установлено, что в  $^{159}\text{Dy}$  возбуждаются уровни с энергиями 56,6; 137 и 310 кэВ.

### 1. Экспериментальные результаты

Спектр конверсионных электронов  $^{159}\text{Ho}$  мы изучали с помощью  $\beta$ -спектрографа с постоянным однородным магнитным полем <sup>/5/</sup>. Для регистрации электронов использовались фотопластинки типа P-50 мк.

Градуировка по энергии проводилась по известным конверсионным линиям  $^{169}\text{Yb}$  и  $^{160}\text{Ho}$ , энергия которых измерены с большой точностью <sup>/6,7,8,9/</sup>. Точность определения энергии линий конверсионных электронов была лучше чем 0,05%.

Относительные интенсивности конверсионных линий определялись по почеченению методом, описанным в <sup>/10/</sup>. Исследования велись при разрешающей способности  $\beta$ -спектрографа около 0,05%.

Нейтрондефицитные изотопы редких земель мы получали при облучении танталовой мишени протонами с энергией 860 МэВ на синхротронном ускорителе ОИЯИ. Сведения о спектре конверсионных электронов  $^{159}\text{Ho}$  получены при изучении спектров конверсионных электронов гольмиевой и эрбиевой фракции, где  $^{159}\text{Ho}$  содержался наряду с другими нейтрондефицитными изотопами  $\text{Er}$  и  $\text{Ho}$ . Химические операции по выделению редкоземельных элементов из облученной танталовой мишени описаны в <sup>/11/</sup>. Источники для  $\beta$ -спектрографа готовились с помощью электролиза <sup>/12/</sup>.

Полученные сведения о спектре конверсионных электронов  $^{159}\text{Ho}$  представлены в таблице 1.

Обнаружены новые  $\gamma$ -переходы с энергиями 31,40; 41,14; 85,70; 100,60; 105,80; 132,00; 136,50; 153,05; 185,85; 186,40; 205,90; 217,67; 258,80; 338,70; 356,40; 395,40; 417,00 кэВ.

Освоением для приписания перечисленных в таблице 1  $\gamma$ -переходов распаду  $^{159}\text{Ho}$  явились следующие факты:

а) Интенсивность конверсионных линий рассматриваемых  $\gamma$ -переходов убывала с периодом полураспада, меньшим 2-х часов, в спектрограммах препаратов  $E_{\gamma}$  фракции ( $^{159}\text{Ho}$  имеет  $T_{1/2} = 50$  мин) и меньше 1 часа - в  $\text{Ho}$  фракции ( $^{159}\text{Ho}$  имеет  $T_{1/2} = 33$  мин). Скорость убывания интенсивности линий оценивалась по почернению в последовательно экспонированных фотопластинках.

б) По разности энергий линий устанавливается, что  $\gamma$ -переход происходит в ядре диспрозия ( $Z = 66$ ).

в) Если  $\gamma$ -переход хорошо укладывается в предлагаемую схему распада это рассматривалось как дополнительный аргумент.

Сравнивая относительные интенсивности  $K$ ,  $L_I$ ,  $L_{II}$  и  $L_{III}$ -линий с теоретическими коэффициентами конверсии  $^{13/}$ , можно определить мультипольности ряда  $\gamma$ -переходов (см. таблицу 2).

## 2. Обсуждение результатов. Схема распада $^{159}\text{Ho}$

Схема уровней  $D_{\gamma}$ , построенная на основе полученных результатов, представлена на рис. 1. Новые данные полностью подтверждают сделанные нами раньше  $^{13/}$  выводы о возбуждении при распаде  $^{159}\text{Ho}$  уровней с энергиями 56,6; 136,5 и 309,6 кэВ; вводятся новые уровни с энергиями 177,6, 209,0, 395,3 кэВ и, возможно, 242,3 кэВ.

Энергии уровней  $D_{\gamma}$ , определенные из сумм отдельных гамма-переходов, хорошо совпадают между собой. Например, энергии уровней 309,6 и 395,3 кэВ могут быть подсчитаны следующим образом:

- 1)  $0 + 309,60 = 309,60$  кэВ
- $56,62 + 253,00 = 309,62$  кэВ
- $136,50 + 173,10 = 309,60$  кэВ
- $177,60 + 132,00 = 309,60$  кэВ
- $177,60 + 31,40 + 100,60 = 309,60$  кэВ

среднее ( $309,61 \pm 0,012$ ) кэВ

Таблица I.

Энергии и относительные интенсивности линии конверсионных электронов, возникающих при распаде  $^{159}\text{Ho}$

№	$E_{\gamma}$ кэВ	Относительные интенсивности						Мультипольность
		$K$	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	$\Sigma M$	$N$	
I	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	31.40 <sup>**</sup>	-	3300	1600	слож.	1000	200	$M1+E2(2\%), (E1)$
2.	41.14 <sup>**</sup>	-	~50	< 50	~50	-	-	$(E1, M2+E3)$
3.	56.62	-	4000	760	720	750	150	$M1+E2(4,6 \pm 0,4\%)$
4.	79.86	3100	410	115	слож.	слож.	слож.	$M1+E2(6\%)$
5.	85.70	слаб.	слаб.	-	-	-	-	
6.	100.60	330	25	слаб.	слож.	слож.	слаб.	$E1(M1+E2)$
7.	105.80 <sup>**</sup>	~10	-	-	-	-	-	
8.	121.00	3300	290	55	75	60	10	$E1$
9.	132.00	слож.	160	30	50	слож.	-	$E1$
10.	136.50	200	~10	50	слож.	слож.	-	$E2$
11.	153.05 <sup>**</sup>	слаб.	-	-	-	-	-	
12.	155.85	85	10	-	-	слож.	-	
13.	159.40	110	10	слаб.	слож.	слаб.	-	$E1(M1+E2)$
14.	173.10	500 <sup>*</sup>	70	слож.	-	10	-	$M1$
15.	177.60	180	15	-	слаб.	слаб.	-	$E1$
16.	185.85 <sup>**</sup>	~10	-	-	-	-	-	
17.	186.40 <sup>**</sup>	слаб.	-	-	-	-	-	
18.	205.90	50	слож.	-	-	-	-	
19.	217.70	40	5	-	-	слаб.	-	$(E1)$
20.	253.00	1300	130	слаб.	-	35	10	$M1$
21.	258.80	140	20	-	-	слаб.	-	$(M1)$
22.	309.60	1030	115	слаб.	-	15	5	$M1$
23.	338.70	30	~5	-	-	слаб.	-	$(M1)$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24.	356.40**	10	слаб.	-	-	-	-	-
25.	395.40	~5	-	-	-	-	-	-
26.	417.00**	5	-	-	-	-	-	-

ПРИМЕЧАНИЕ:

Слож. - спектр в районе, где должна быть указанная линия сложный; указанную линию нельзя идентифицировать, так как в этом месте имеются линии других изотопов.

Слаб. - линия слабая; линия наблюдается визуально, но определить ее интенсивность нельзя.

- - прочерк обозначает, что линия не наблюдается даже визуально.

жж - приписание этих переходов  $\text{No}^{159}\text{Ho}$  предположительно.

Таблица 2.

Определение мультипольности  $\gamma$ -переходов при распаде  $\text{No}^{159}\text{Ho}$

№	$E_{\gamma}$ , кэВ	Метод определения мультипольности	Экспериментальные значения	Теоретические значения					МЗ	Заключение о мультипольности
				E1	E2	E3	M1	M2		
1.	31.40	$L_1 : L_2$	4 2.1±0.4	5 1.66	6 0.02	7 0.01	8 10.44	9 13.50	10 12.60	II M1+E2 (2%), (E1)
2.	56.62	$L_1 : L_2$ $L_2 : L_3$	4 5.2±1.2 1.0±0.2	2.40 0.76	0.03 0.86	0.01 0.94	11.42 6.00	10.00 0.32	7.58 0.06	M1+E2 (1.6±0.4%)
3.	79.86	$K : L_1$ $L_1 : L_2$	4 7.5±1.5 3.6±0.7	9.90 3.67	10.97 0.10	4.80 0.02	7.33 11.56	4.43 8.90	1.70 6.48	M1+E2(6%) (E1)
4.	100.60	$K : L_1$ $L_1 : L_2$	4 13.2±2.6 >2.5	9.58 4.36	10.82 0.19	7.86 0.03	7.34 11.70	4.74 8.49	2.43 5.90	E1 (M1+E2)
5.	121.00	$K : L_1$ $L_1 : L_2$ $L_2 : L_3$	4 11.2±2.2 5.2±1.0 0.8±0.2	9.40 5.02 0.84	10.46 0.28 1.05	8.45 0.06 1.23	7.35 11.83 6.28	5.00 8.30 0.72	2.93 5.76 0.22	E1
6.	132.00	$L_1 : L_2$ $L_2 : L_3$	4 5.3±1.0 0.6±0.1	5.35 0.85	0.34 1.42	0.06 1.28	11.87 6.32	8.20 0.79	5.72 0.25	E1



I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
7.	136.50	$K: L_n$	$4.2 \pm 0.8$	50.50	3.56	0.57	87.60	42.65	18.55	E2
8.	159.40	$K: L,$ $L_n: L_m$	II $\pm 2.2$ > 3	9.06 6.13	9.80 0.47	8.98 0.10	7.36 12.04	5.48 8.04	3.68 5.63	E1 (M1+E2)
9.	173.10	$K: L,$ $L_n: L_m$	7.1 $\pm 1.4$ > 15	9.00 5.64	9.66 0.67	8.84 0.17	7.36 78.60	5.58 8.40	3.90 2.01	M1
10.	177.60	$K: L,$ $L_n: L_m$	I2 $\pm 2.4$ > 3	8.98 5.82	9.64 0.69	8.82 0.18	7.36 79.00	5.61 8.52	3.95 2.04	E1
II.	253.00	$K: L,$ $L_n: L_m$ $L_m: L_m$	9.90 $\pm 2.0$ > 12 > 2	8.62 8.35 0.93	8.96 0.99 1.42	8.30 0.26 1.74	7.36 12.85 6.50	6.08 8.25 1.63	4.88 5.54 0.58	M1
12.	309.60	$K: L,$ $L_n: L_m$ $L_m: L_m$	8.9 $\pm 2.0$ > 10 > 2	8.50 9.42 0.95	8.67 1.33 1.54	8.67 0.40 1.94	7.86 13.24 6.54	6.30 8.40 2.03	5.25 5.73 0.75	M1

$$2) 0 + 395,40 = 395,40 \text{ кэВ}$$

$$56,82 + 338,70 = 395,32 \text{ кэВ,}$$

$$136,50 + 258,80 = 395,30 \text{ кэВ}$$

$$177,80 + 217,70 = 395,30 \text{ кэВ}$$

$$177,80 + 31,40 + 186,40 = 395,42 \text{ кэВ}$$

$$136,50 + 105,80 + 153,05 = 395,35 \text{ кэВ}$$

$$309,80 + 85,70 = 395,30 \text{ кэВ}$$

среднее (395,34  $\pm$  0,04 ) кэВ

Как видно, суммы совпадают с точностью не хуже 0,01%. Это значит, что хотя, как это указано выше, точность определения абсолютного значения энергии конверсионных линий около 0,05% относительные величины энергии линий определяются лучше, что и позволяет получить такие совпадения в суммах.

Уровни 56,8 и 136,5 кэВ, несомненно, являются уровнями ротационной полосы основного состояния  $^{159}\text{Dy} - 3/2^{-} - /521/$ . Экспериментальные данные о мультипольностях  $\gamma$ -переходов в этой полосе полностью согласуются с тем, что ожидается на основе обобщенной модели. Так, отношение приведенных вероятностей переходов 79,8 кэВ (E2-компонента) и 136,5 кэВ равно

$$\frac{B(E2, 79,8 \text{ кэВ})}{B(E2, 136,5 \text{ кэВ}) \text{ эксп.}} = (1,85 \pm 0,6);$$

ожидаемое теоретическое отношение равно 1,5. Третий возбужденный уровень этой полосы со спином  $9/2^{-}$  можно ожидать при энергии около 240 кэВ.  $\gamma$ -переходы с энергиями 105,80 и 185,8 кэВ, возможно, идут с этого уровня. Тогда энергия третьего возбужденного уровня 242,3 кэВ.

Так как все три перехода с уровня 309,8 кэВ на уровни ротационной полосы основного состояния со спинами  $3/2^{-}$ ,  $5/2^{-}$  и  $7/2^{-}$  типа M1, уровень 309,8 кэВ имеет спин  $5/2^{-}$  и отрицательную четность. Весьма вероятно, что это состояние типа  $5/2^{-} - /523/$ , наблюдавшееся в ряде соседних ядер вблизи состояния  $3/2^{-} - /521/$ . Уровень с энергией 395,3 кэВ, вероятно, является первым уровнем ротационной полосы состояния  $5/2^{-} - /523/$  с энергией 309,6 кэВ.

Уровень с энергией 177,6 кэВ связан  $\gamma$ -переходами типа E1 с основным состоянием, уровнем 56,8 кэВ и уровнем 309,8 кэВ. Таким образом, это уровень положительной четности со спином  $5/2$  или  $3/2$ . Если спин этого уровня  $3/2$ , то  $\gamma$ -переход 41,1 кэВ на уровень 136,5 кэВ должен быть типа M2. Оценивая по Вайскопфу время жизни уровня 177,6 кэВ относительно  $\gamma$ -переходов 41,1 кэВ (M2) и 121,0 кэВ (E1), получаем, что  $\gamma$ -переход 41,1 кэВ типа M2 должен быть приблизительно в  $10^{10}$  слабее

$\gamma$  -перехода 121,0 кэв типа E1. Это значит, что, если бы уровень 177,8 кэв имел спин  $3/2^+$ , то переход 41,1 кэв не наблюдался. Если же уровень 177,8 кэв спина  $5/2^+$ , переход 41,1 кэв будет иметь мультипольность E1. Оценивая по Вайскопфу, получаем, что в этом случае следует ожидать, что  $\gamma$  -лучи 41,1 кэв приблизительно в 40 слабее  $\gamma$  -лучей 121,0 кэв. Определенное из опыта отношение  $\frac{J_{\gamma-121}}{J_{\gamma-41}} = 80$ . Такие оценки позволяют утверждать, что уровень 177,8 кэв имеет спин  $5/2^+$ . Весьма вероятно, что это одноквазичастичное состояние типа  $5/2^+$  642, а уровень 209,6 кэв - первый уровень ротационной полосы, основанной на этом состоянии.

Используя данные об интенсивностях линий конверсионных электронов и сведения о мультипольностях  $\gamma$  -переходов (табл. 1 и 2), мы подсчитали интенсивности  $\gamma$  -переходов при распаде  $^{159}\text{Ho}$ . Эти расчеты показывают, что при распаде  $^{159}\text{Ho}$  сильнее всего заселяется уровень 309,6 кэв (около 60% распадов). Значение  $\log ft$  для K -захвата на этот уровень находится в пределах  $4,2 \leq \log ft \leq 4,7$ .

Основное состояние  $^{159}\text{Ho}$  имеет квантовые характеристики  $7/2^- [523]^{3/2}$ . Это следует из того факта, что в  $^{159}\text{Ho}$ , как и в других нечетных протонах гольмия, наблюдается изомерный переход типа E3 -  $1/2^+ 411 \rightarrow 7/2^- [523]$ . K -захват из состояния  $7/2^- [523]^{159}\text{Ho}$  в состояние  $5/2^- [523]^{159}\text{Ho}$  относится к классу разрешенных незадержанных. Для переходов этого класса измеренные значения  $\log ft$  в других ядрах равны  $4,5 - 4,8^{14-15/}$ . Таким образом, полученная оценка значения  $\log ft$  очень хорошо согласуется с ожидаемым характером перехода. К сожалению, получить более точную оценку значений  $\log ft$  при распаде  $^{159}\text{Ho}$  на уровни  $^{159}\text{Dy}$  нельзя, так как неизвестна точно энергия распада  $^{159}\text{Ho}$  и нет данных о том, как заселяются более высокие (выше 400 кэв) уровни  $^{159}\text{Dy}$ . В наших оценках мы использовали значение разности масс  $^{159}\text{Ho} - ^{159}\text{Dy}$ , равное  $(1,3 \pm 0,3)$  и взятое нами из таблиц Драницкой<sup>16/</sup>.

Таким образом, при распаде  $^{159}\text{Ho}$  возбуждаются уровни, относящиеся, по крайней мере, к трем одноквазичастичным состояниям, связанные между собой большим числом  $\gamma$  -переходов. Можно сравнить приведенные интенсивности  $\gamma$  -лучей с уровнем 309,6 и 177,6 кэв на уровни ротационной полосы основного состояния:  $3/2$ ;  $5/2$  и  $1/2$  с ожидаемыми теоретическими. Для уровня 309,6 кэв экспериментальные отношения  $(B(M1; 173 \text{ Кэв}); B(M1; 253 \text{ кэв}); B(M1; 309 \text{ кэв})) = 0,37 : 1 : 0,51$ . Отношения квадратов соответствующих коэффициентов Клебша-Гордана равны  $0,17 : 1 : 1,6$ , т.е. экспериментальные величины отличаются от теоретических в 2-3 раза. Для уровня 177,6 кэв экспериментальные отношения  $B(E1; 41 \text{ кэв}) : B(E1; 121 \text{ кэв}) : B(E1; 177 \text{ кэв}) = < 0,5 : 1 : 0,042$ . Соответствующие теоретические отношения равны  $0,17 : 1 : 1,6$ . Здесь мы наблюдаем большую разницу между теорией и экспериментом

для величины отношения интенсивностей  $\gamma$ -лучей 177 и 121 кэв. Значительные отклонения от правил Алага для переходов типа E1 наблюдаются и в ряде других ядер в этой области.

#### Л и т е р а т у р а

1. Toth K.S., Inorg. and Nucl. Chemistry, 7, 1 (1958).
2. А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов, Г.Я. Умаров. ЖЭТФ, 41, 1729 (1961).
3. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, Ф.Н. Мухтасимов, Г.Я. Умаров. Изв. АН Узб. ССР, серия физ.-мат., 2, стр. 43 (1964).
4. T. Stenström, B. Jung. Nucl. Phys., no. 2, 209 (1965).
5. А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов, Б.С. Желепов, Г.Я. Умаров. Изв. АН Уз. ССР, серия физ. мат. № 3 (1961).
6. E.N. Hatch, F. Boehm, P. Marnier, J.W. Du-Mond. Phys. Rev., 104, 745 (1956).
7. G. Bäckström, I. Lindskog, O. Bergman, E. Bachandy, A. Bäcklin. Arkiv. Fys., 15, 121 (1959).
8. G. T. Ewan, R. L. Graham, J. S. Geiger. Nucl. Phys., 22, 610 (1961).
9. F. Boehm, J. Rogers. Nucl. Phys., 41, 553 (1963).
10. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов. Изв. АН Узб. ССР, серия физ.-мат., № 1 (1962).
11. Б.К. Преображенский, В.А. Калямин, О.М. Лилова, А.Н. Доброзрадова, Е.Д. Тетерин. ЖАХ, 1, 10, 1094 (1958).
12. А.Ф. Новгородов, В.Л. Кочетков, Н.А. Лебедев, В.А. Халкин. Радиохимия, т.6, стр. 73, выпуск 1 (1964).
13. Гамма-лучи. Под редакцией Л.А. Слива. Изд-во АН СССР, 1961.
14. В.Г. Соловьев. ЖЭТФ, т. 43, стр. 246, (1962).
15. К.Я. Громов. Лекции на летней школе физиков в Телави, 1965 г.
16. Г.Ф. Драницына. Материалы IV совещания по ядерной спектроскопии нейтронно-дефицитных изотопов и теории ядра. Препринт ОИЯИ Р-959, Дубна 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 декабря 1965 г.



$\frac{159}{67} \text{Ho}_{92}$   
 33 мум.  $\frac{7}{2} \frac{7}{2} - [523]$   
 K

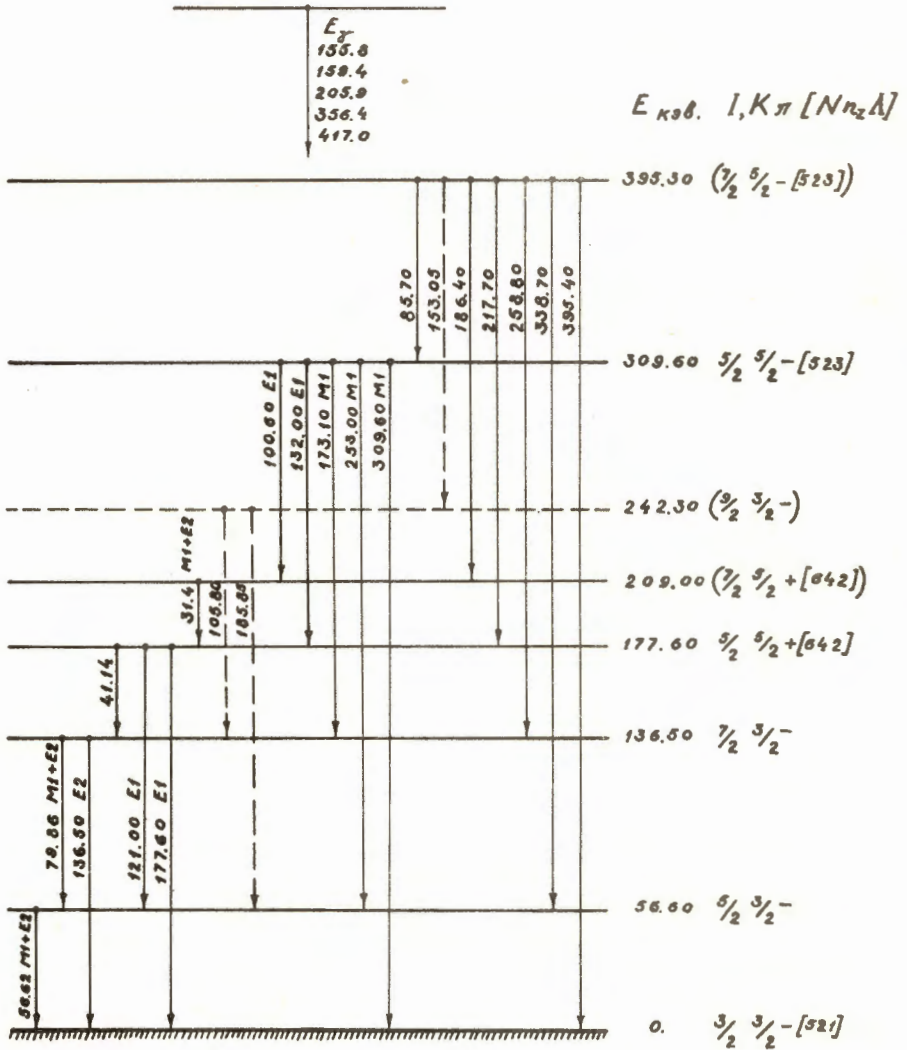


Рис. 1. Схема распада  $^{159}\text{Ho}$