

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



25/11-78

P6 - 11768

A-50

5622/2-78

Б.А.Аликов, В.Андрейчев, К.Я.Громов, Т.А.Исламов,
А.Караходжаев, Н.З.Марупов, К.М.Муминов,
Т.М.Муминов, Ш.Оманов, У.С.Салихбаев, Р.Р.Усманов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$

1978

P6 - 11768

Б.А.Аликов,¹ В.Андрейчев, К.Я.Громов, Т.А.Исламов,²
А.Караходжаев,² Н.З.Марупов,¹ К.М.Муминов,¹
Т.М.Муминов,¹ Ш.Оманов,¹ У.С.Салихбаев,¹ Р.Р.Усманов¹

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$

Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./

¹ Самаркандский государственный университет

² Ташкентский государственный университет

Аликов Б.А. и др.

P6 - 11768

Исследование распада $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$

При распаде $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$ исследовались спектры γ -лучей, электронов внутренней конверсии, $\gamma\gamma$ -совпадений и временных распределений $e\gamma$ -совпадений. Результаты исследований позволили обнаружить возбуждение при распаде ^{155}Ho высокоспиновых состояний ^{155}Dy 132,2 (9/2⁺), 154,4 (13/2⁺), 225,2 (9/2⁻) и 234,4 кэВ (11/2⁻) и изомерного состояния с $T_{1/2} = 50$ нс с энергией выше 247,8 кэВ, определить время жизни уровня 132,2 кэВ ($T_{1/2} = 85 \pm 10$ нс).

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Alikov B.A. et al.

P6 - 11768

Investigation of the Decay $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$

In the $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$ decay spectra of γ -rays and of internal conversion electrons as well as delayed $\gamma\gamma$ - and $e\gamma$ -coincidences were investigated. From the experimental results, the excitation of the ^{155}Dy high spin states 132,2 keV (9/2⁺), 154,4 keV (13/2⁺), 225,2 keV (9/2⁻) and 234,4 keV (11/2⁻) in the radioactive decay of ^{155}Ho could be revealed. The half-life of the 132,2 keV level has been measured as $T_{1/2} = 85 \pm 10$ ns. The existence of an isomeric level at an energy higher than 247,8 keV with $T_{1/2} = 50$ ns has been supposed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивный распад $^{155}\text{Ho} / T_{1/2} = 48$ мин/ изучался рядом авторов /1-6/. Наиболее полные данные о распаде ^{155}Ho были получены Торресом и др. /5/. Схема распада ^{155}Ho /см. обзор /7/, построенная на основе изучения спектров γ -лучей /5/, электронов внутренней конверсии /3-5/, позитронов /2,5/ и $\gamma\gamma$ -совпадений /5/, содержит 21 возбужденное состояние с возможными значениями спинов от 1/2 до 7/2. В работе Кильчер и др. /8/ были измерены времена жизни или их верхние пределы для уровней ^{155}Dy с энергиями 39; 86; 136; 202 и 240 кэВ. В работе /9/ сообщалось об обнаружении при распаде ^{155}Ho изомера с $T_{1/2} = 63$ нс. В ядерных реакциях /10-12/ наблюдалось возбуждение высокоспиновых состояний вращательной полосы 11/2⁻ [505] и сильновозмущенной кориолисовым смешиванием полосы деформированных состояний, исходящих из подболочки $i_{13/2}$. Криен и др. /11/ в реакции $^{146}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 3n)^{155}\text{Dy}$ установили энергию /95,5 кэВ/ головного состояния 9/2⁺ сильновозмущенной полосы. Однако это значение противоречило спектру, полученному в (d,t) реакции в более ранней работе Гротдала и др. /10/. В недавней работе Страуме и др. /12/ опубликованы результаты изучения (d,t) и ($^3\text{He}, \alpha$) реакций, которые надежно указывают на возбуждение состояния 9/2⁺ с энергией 132 кэВ в ^{155}Dy . Это подтверждается и результатами Хьёрта и Кламра /13/, полученными в реакции ($\alpha, 3n$).

В настоящей работе при распаде $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$ исследовались спектры γ -лучей, конверсионных электронов, $e\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадений.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1. Радиоактивные источники

Исследования проводились с радиоактивными источниками ^{155}Ho , полученными в реакции глубокого расщепления Та протонами с энергией 660 МэВ на синхротроне ОИЯИ. Из облученной мишени радиохимическими методами $^{14/}$ выделялись изотопы Ho, которые затем разделялись по массам на электромагнитном масс-сепараторе $^{15/}$. Полученные источники ^{155}Ho были использованы для изучения спектров γ -лучей, $e\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадений. Источники для β -спектрографов готовились методом электролитического осаждения фракции изотопов Ho на платиновую нить $\phi = 0,1$ мм.

2.2. Аппаратура

Спектры γ -лучей измерялись при помощи спектрометра с Ge(Li)-детектором / $V = 0,8$ см³, $\Delta E_{\gamma} = 0,50$ кэВ на $E = 122$ кэВ/. Методика измерений и обработки γ -спектров подробно описана в работе $^{16/}$.

Конверсионные электроны изучались при помощи β -спектрографов с постоянным однородным магнитным полем ($\Delta H_{\rho}/H_{\rho} \approx (3-7) \cdot 10^{-4}$) $^{17/}$. Для регистрации электронов использовались фотопластинки типа НИКФИ-50. Их фотометрирование проводилось на автоматизированном микрофотометре, связанном с ЭВМ "Минск-2" $^{18/}$.

Измерения $\gamma\gamma$ -совпадений проводились на установке, работающей в режиме непрерывной связи с ЭВМ HP-2116C. В установке использовались Ge(Li)-детектор коаксиального типа / $V = 41$ см³, $\Delta E_{\gamma} \approx 3$ кэВ на $E_{\gamma} = 1,33$ МэВ/ и сцинтилляционный детектор с кристаллом NaJ(Tl) $\phi 40 \times 40$ мм и фотоумножителем типа XP1021. Установка, методика измерений и методика амплитудно-временного анализа результатов измерений описаны в работе $^{19/}$.

Времена жизни некоторых уровней с $T_{1/2} < 4$ нс измерялись на многоканальном временном анализаторе $^{20/}$ собранном на базе магнитно-линзового β -спектрометра

и сцинтилляционного детектора /сцинтиллятор типа NE111 $\phi 25 \times 10$ мм, фотоумножитель типа XP1020/.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Спектры γ -лучей и электронов внутренней конверсии

Наши исследования спектров γ -лучей и конверсионных электронов позволили обнаружить ряд новых γ -переходов в ^{155}Dy , уточнить энергии, интенсивности и мультипольный состав γ -переходов в диапазоне $E_{\gamma} \approx 20 \div 350$ кэВ. Результаты этих исследований и данные, полученные в работе Торреса и др. $^{5/}$, приведены в табл. 1. Сравнение этих результатов показывает, что при общем удовлетворительном согласии для некоторых γ -переходов наблюдаются резкие расхождения в определении их интенсивностей и мультипольного состава.

На рис. 1 и 2 представлен спектр γ -лучей и участки спектра конверсионных электронов ^{155}Ho .

3.2. $\gamma\gamma$ -совпадения

На рис. 3 и 4 приведены некоторые спектры γ -лучей и временных распределений, полученные при амплитудно-временном анализе экспериментальной информации о $\gamma\gamma$ -совпадениях при распаде $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$. Положения "окон" во временном и в обоих энергетических спектрах, выбранные для сортировки экспериментальной информации, указаны на этих же рисунках. В γ -спектрах задержанных совпадений /рис. 3/ с временными "окнами" /рис. 4/ "А" и "В" /"стартовые спектры"/ должны проявиться переходы, связанные с заселением, а в совпадениях с "окнами" "Д" и "Е" /"стоповые" спектры/ - с распадом изомерных состояний /выбор двух последовательных "окон" на каждом из склонов временного спектра позволяет оценить периоды полураспада изомерных переходов и выявить фотопики, обусловленные случайными совпадениями/. "Окно" "С" соответствует мгновенным совпадениям.

Таблица 1

Энергии, относительные интенсивности гамма-лучей и ЭВК при распаде ^{155}Ho

$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$ кэВ	I_{γ}	I_{γ}	I_{α}	$I_{L_{\gamma}}$	$I_{L_{\beta}}$	$I_{L_{\beta}}$	$I_{L_{\beta}}$	$I_{\text{мин}}$	σ^L	δ^3 к100
1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10
9,1(1)	-	-	-	7(M ₁)	6(M ₂)	-I(M ₃)	>60	MI+E2	0,1	
28,15(5)	-	-	-	3	~0,6 ^c	-	~3,5	(E1)		
37,80(4)	-	-	-	30	10,3	-	17	MI+E2		
39,39(2)	10(2)	23,3(4)	-	9	4	7 _{2c}	~67	MI+E2	5,2(10)	
45,38(5)	7,0(1,4)	26,0(20)	-	60	12	9	135	E1+(M2)		
47,38(2)	1,0(3)	1,55(6)	5	1,2	0,3	-	2,3	MI+E2	1,5(3)	
49,52(4)	-	-	~0,6 ^c	2	1,7	-	1,5	MI+E2	1,6(4)	
66,08(5)	-	-	2,0 ^c	0,4	-	-	~2	E2		
79,80(6)	8,0(16)	6,5(2)	10,3	0,9	7	7,2	37			
81,30(10)	-	-	1,0	0,15	-	-	~3,5	(M1)		
86,75(1)	-	-	~1,0	-	-	-	5,5	MI+E2	5(2)	
88,20(5)	-	-	2,2	-	-	-	33			
90,35(9)	-	-	0,9(1)	-	-	-	~2			
91,32(8)	-	-	0,73(9)	-	-	-	8			
92,22(6)	-	-	~0,3	-	-	-	23			
96,88(5)	9,0(20)	9,0(2)	1,2	3	0,6	0,12	4	MI+E2		
100,84(7)	-	-	0,6	-	-	-	~2			
101,34(7)	1,0(3)	-	0,8	-	-	-	4			
102,13(5)	-	-	1,5 ^c	-	-	-	9	MI+(E2)		
103,86(5)	20(4)	17,8(3)	4,6	0,55	0,6 ^c	I	16,4	MI+E2		
108,79(5)	4,3(8)	-	6	0,7	-	-	~0,3	E2		
111,41(2)	-	-	1,7 ^c	сложн.	-	-	71	(E1)	3,8(10)	
115,3	-	-	0,7	0,35	1,9	0,15	8,6	MI+E2		
115,5(1)	6,0(15)	6,3(2)	3,6	-	-	-	9	MI		
123,10(6)	-	-	~0,15	-	-	-	~0,3	MI		
124,61(1)	-	-	0,6	-	-	-	71	(E1)		
136,28(1)	2,4(5)	35,4(5)	30	4,4	0,36	0,15	8,6	MI+E2		
137,79(2)	5,0(15)	4,3(1)	3,0	0,45	сложн.	-	8,6	MI		
138,50(3)	10(3)	7,7(3)	1,0	0,1	-	-	9	MI		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
147,6	-	-	0,08	-	-	-	0,3		
151,15(8)	-	-	0,2	-	-	-	~2,5		
160,55(4)	-	-	0,15	-	-	-	~5		
160,76(4)	10(3)	1,8(7)	0,2	0,4	-	-	2,0	MI+E2	100(20)
161,08(8)	10(2)	6,6(3)	3,5	сложн.	-	-	10,2	MI	
163,03(1)	22(5)	16,6(6)	0,65	0,8	0,1	-	26,6		
165,10(1)	-	-	0,15	-	-	-	0,7		
165,96(3)	2,5(7)	-	0,65	-	-	-	0,3		
189,1(1)	6,0(15)	2,8(4)	0,15	-	-	-	3,0	E1+E2	22(15)
200,60(2)	11(2,1)	12,7(4)	2,5	0,4	0,08	0,05	16,9	E1	
202,40(1)	7,1(15)	-	0,3	-	-	-	7,5	E1	
208,40(1)	12,0(2,5)	11,6(4)	0,45	-	-	-	12,1	E1+(M2)	
212,65(3)	4,5(10)	3,5(4)	0,18	-	-	-	3,7	E1	
214,95(8)	11(2)	9,8(38)	0,2	0,1	0,12 ^c	0,08	~5	MI+(M2)	
219,04(9)	-	-	0,15	0,1	-	-	1,8	E2	
224,50(4)	-	-	0,15	-	-	-	1,5		
226,6	-	-	0,15	-	-	-	1,5		
230,17(1)	100(20)	100,0(20)	2,57	0,35	~0,06	0,08	-	E1	
240,17(1)	13(2)	13,0(6)	0,3	-	-	-	13,4	E1	
247,72(2)	1,6(3)	2,6(3)	0,3	-	-	-	3,1	MI	
258,97(3)	7,2(20)	10,1(7)	0,16	-	-	-	10,3	E1	
262,16(2)	2,8(6)	-	0,1	-	-	-	3	(E2)	
266,8	4,7(15)	6,0(6)	0,1	-	-	-	6,1	MI	
272,18(3)	5,2(15)	3,8(7)	0,5	0,1	0,025	-	4,5	MI	
285,01(4)	3,6(15)	4,5(6)	0,5	0,04	~0,02	-	5,1	MI+E2	
288,54(3)	5,2(15)	3,2(6)	сложн.	-	-	-	3,6		
309,19(6)	6,6(15)	5,2(9)	0,07	-	-	-	4,6		
311,73(4)	3,0(6)	4,5(8)	~0,08 ^c	-	-	-	5,3	E1	
321,40(5)	4,5(10)	3,4(7)	~0,09	0,2	~0,025	-	3,5	MI	
325,4	22(5)	-	1,8	-	-	-	24		
347,3(1)	1,2(3)	-	0,03	-	-	-	1,3	E1	
395,8	-	-	0,05	-	-	-	2,2	MI	
444,2	2,1(4)	-	0,04	-	-	-	2,5	E1	
557,5	2,4(6)	-	~0,01	-	-	-			
569,2	-	-	-	-	-	-			

Примечание: ошибка в определении интенсивностей ЭВК не превышает 20%. с - сложная линия.

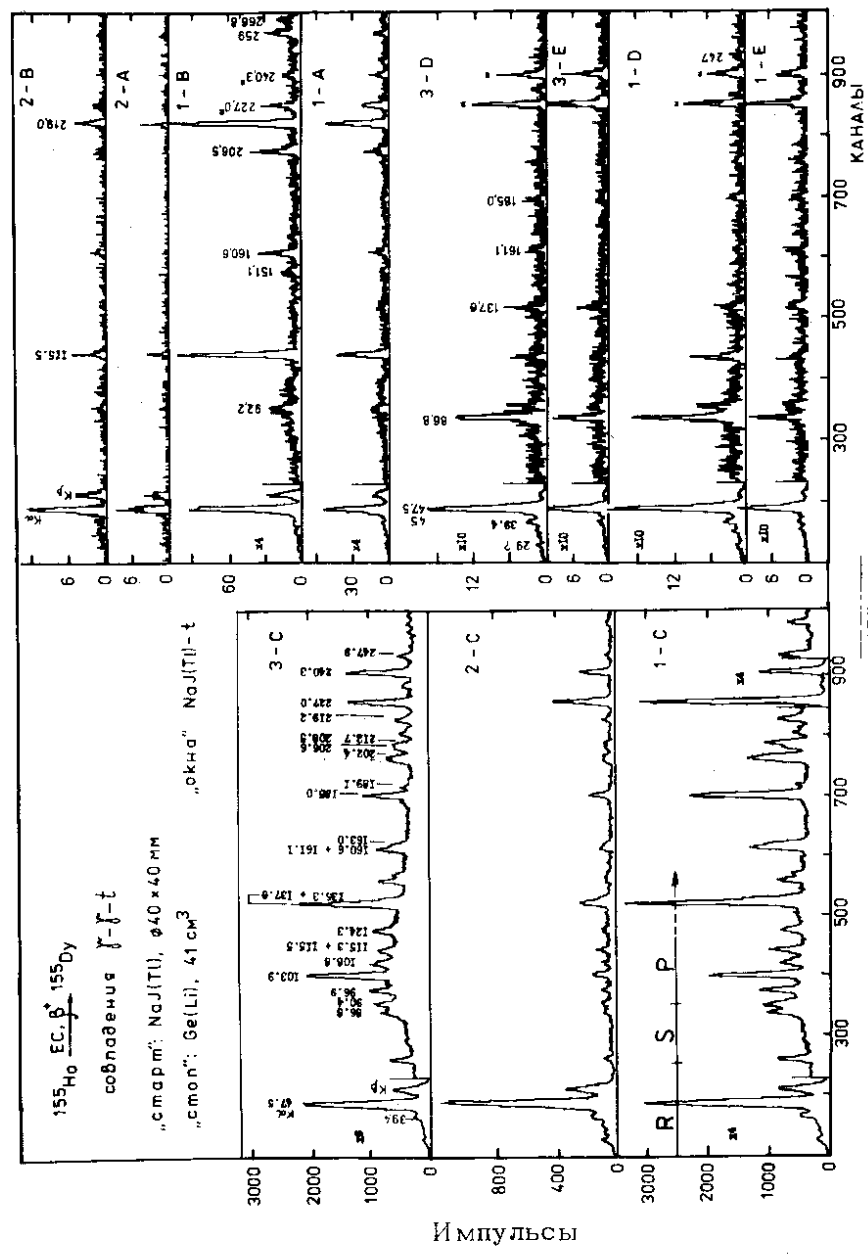


Рис. 3. Спектры γ -лучей ^{155}Ho в мгновенных и задержанных совпадениях. * - фотопики, обусловленные случайными совпадениями.

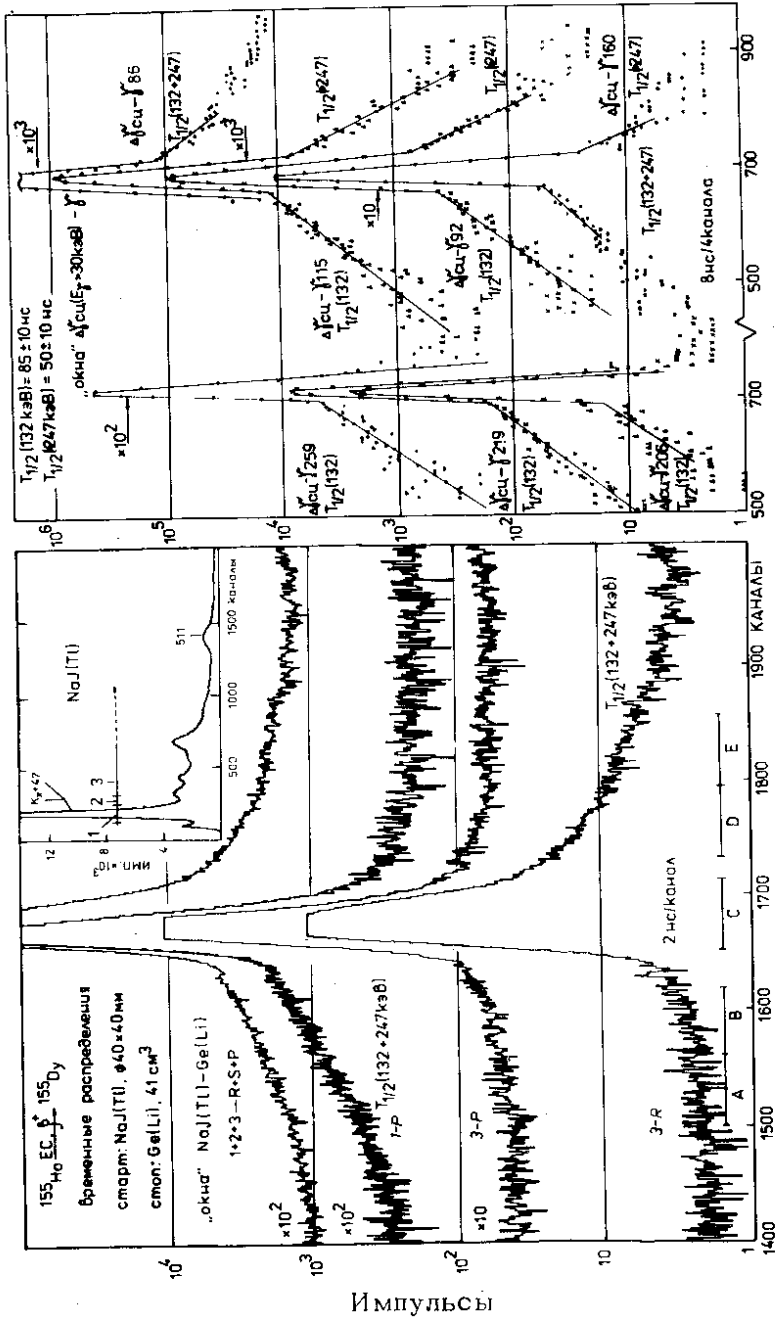


Рис. 4. Временные распределения γ - γ -совпадений в ^{155}Dy . На вставке приведен синхронизированный γ -спектр ^{155}Ho .

Во временных распределениях исследуемых совпадений в зависимости от положения окон в энергетических спектрах отчетливо проявляются два задержанных компонента с $T_{1/2} \approx 50 \div 100$ нс. Гамма-переходы, проявившиеся в спектрах задержанных совпадений в диапазоне энергий 30-270 кэВ, приведены в табл. 2. Там же приведены необходимые для интерпретации экспериментальных результатов сведения о $\gamma\gamma$ -совпадениях при распаде ^{155}Ho , полученные в работе /5/. При обсуждении экспериментальных результатов мы исходили из схемы распада ^{155}Ho , предложенной в работе /5/, и учитывали сведения о возбуждении состояний ^{155}Dy в ядерных реакциях /12,13/.

Таблица 2
Сведения о совпадениях γ -лучей ^{155}Ho

$t_{303} \approx 25$ нс	II5,5-86,8; II5,3-189,1-325,4; I60,6-160,6-...; I61,1-86,8-...; 206,6 ^a -219,2 ^a -312,0 ^a ; 206,1-I60,6....
наст. распада	"СТАРТ" $K_{\alpha}; K_{\beta}; 92,2^{\text{б}}; II5,5; I51,1^{\text{б}}; I60,6;$ $t_{303} \approx 100$ нс $206,5^{\text{a}}; 259,0; 206,3^{\text{a}}; 219,0^{\text{a}}$
	"СТОП" $29^{\text{б}}; 39,4; (45)+47,5; 86,8; 92,2^{\text{б}}; II5,5;$ $I37,8; I61,1; I85,1; (208,5?); (247,7?)$
$t_{303} \approx 100$ нс	

a - переходы, не размещенные в схеме уровней /5/;
б - обнаруженные в данной работе.

3.3. Схема распада

На рис. 5 приведен фрагмент схемы распада $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$. Уровни и переходы, введенные нами в схему, отмечены знаком (x).

Проявление переходов 115 и 92 кэВ как в "стартовых", так и в "стоповых" спектрах задержанных γ -лучей и проявление задержанных компонентов на обоих

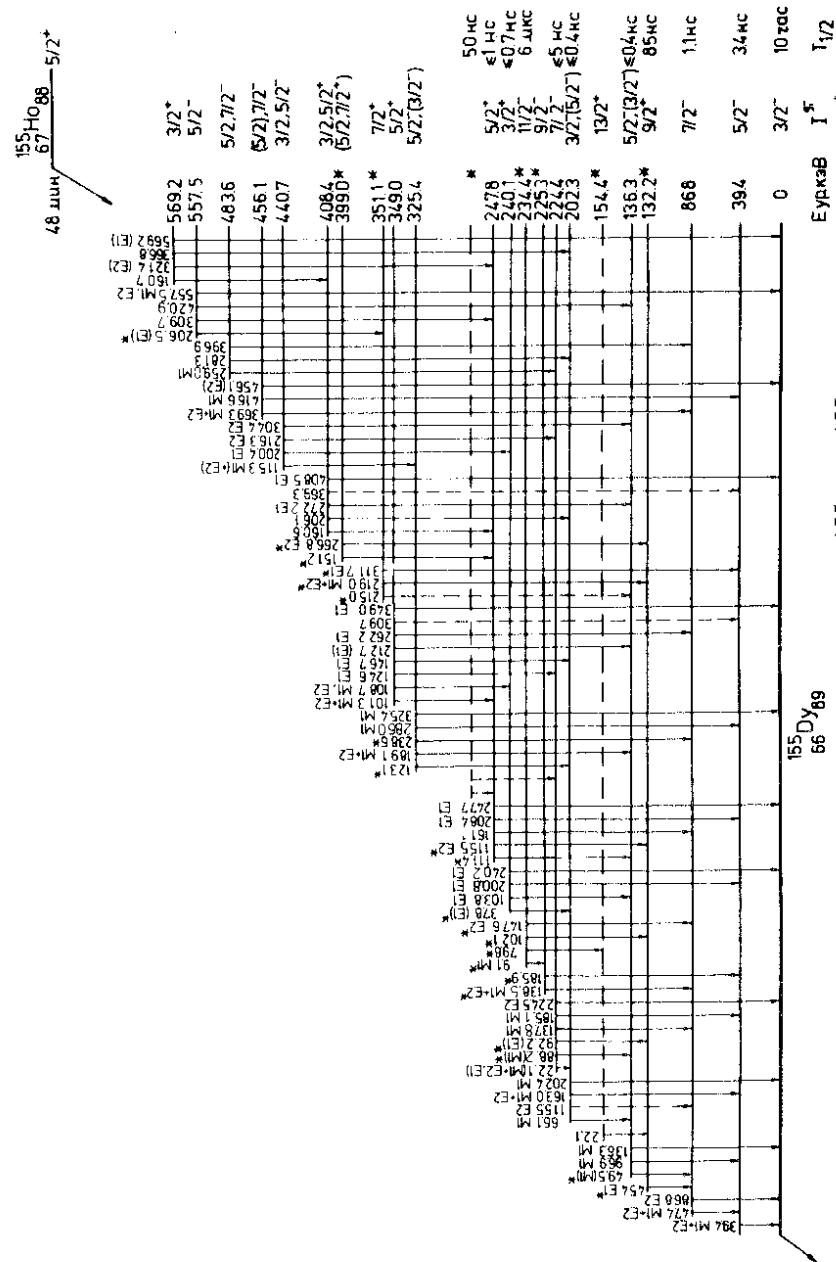


Рис. 5. Фрагмент схемы распада $^{155}\text{Ho} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$. В схему включены некоторые слабые переходы, наблюдавшиеся в /5/, но не исключенные нами в табл. 1.

склонах временных распределений совпадений $\Delta y_{\text{сц}} - \gamma_{115}$ и $\Delta y_{\text{сц}} - \gamma_{92}$ указывает, что эти переходы связаны, с одной стороны, с заселением изомера с $T_{1/2} = 85 \pm 10$ нс, с другой - с распадом изомера с $T_{1/2} = 50 \pm 10$ нс.

3.3.1. Изомер $9/2^+$ с энергией 132,2 кэВ

Характеристики уровней 39,4; 224,4; 202,3 кэВ.

Если допустить, что при распаде ^{155}Ho возбуждается состояние с энергией 132 кэВ /наблюдаемое в ядерных реакциях /12,13/ / и приписать ему значение $T_{1/2} = 85$ нс, то переходы 115 (E2) и 92 кэВ (E1) можно разместить между этим состоянием и уровнями 247,8 / $I^\pi = 5/2^{+5/}$ / и 224,4 / $I^\pi = 5/2, 7/2^{-5/}$ /, соответственно. В пользу этого свидетельствует проявление в "стартовых" спектрах переходов 259 и 160 кэВ, заселяющих уровни 224 и 247 кэВ, а в "стоповых" спектрах - переходов 39; 47 и 87 кэВ, находящихся в каскаде с переходом 45 кэВ, связывающим уровни 132 и 87 кэВ.

Размещение E1-перехода 92 кэВ между уровнями 132 кэВ / $9/2^+$ / и 224 кэВ позволяет однозначно установить спин последнего как $I^\pi = 7/2^-$. Это, в свою очередь, однозначно определяет спин уровня 39 кэВ /связанного с уровнями 0 кэВ / $3/2^-$ / и 224 кэВ M1-переходами/ как $5/2^-$. Следует отметить, что в работе /5/ переход 115,5 кэВ (E2) размещен между уровнями 202 и 87 кэВ, хотя и не наблюдались совпадения этого перехода с переходами, заселяющими уровень 202 кэВ. Такому размещению перехода 115,5 кэВ не соответствует и его проявление в задержанных спектрах, т.к. времена жизни уровней 87 и 202 кэВ равны соответственно $T_{1/2} = 1,1$ нс и $T_{1/2} \leq 0,5$ нс/8/.

3.3.2. Уровни 351 и 399 кэВ.

Характеристики уровня 557 кэВ

Каскадные переходы 206 и 219 кэВ, проявившиеся в "стартовых" спектрах, можно разместить между уров-

нями 557 / $I^\pi = 3/2, 5/2^{-5/}$ / и 132 кэВ. Из сравнения интенсивностей этих переходов в задержанных спектрах следует отдать предпочтение последовательности $\gamma_{206} \rightarrow \gamma_{219}$ кэВ. В соответствии с этим в схему уровней необходимо ввести состояние 351 кэВ. Переход 206 кэВ находится в каскаде с переходом 312 кэВ / $5/2^-$ /, поэтому последний можно разместить между уровнями 351 и 39 кэВ. С учетом мультипольностей переходов 219 (M1+E2), 206 (E1) и 312 кэВ (E1) уровням 351 и 557 кэВ следует однозначно приписать $I^\pi = 7/2^+$ и $5/2^-$, соответственно.

Переходы 151 и 266 кэВ (E2), проявившиеся в "стартовых" спектрах, по-видимому, заселяют уровни 247 и 132 кэВ, соответственно, и определяют уровень с энергией 399,0 кэВ и $I^\pi = 5/2, 7/2^+$.

3.3.3. Изомер с $T_{1/2} = 50$ нс

При анализе "стоповых" спектров необходимо учитывать, что в этом случае основной вклад во временное разрешение вносит Ge(Li) - детектор /в случае "стартовых" совпадений - сцинтилляционный/. Поэтому в "стоповых" спектрах эффективность регистрации совпадений резко уменьшается с ростом энергии γ -лучей.

В "стоповых" спектрах помимо переходов 39; 45; 47 и 87 кэВ, связанных с распадом уровня 132 кэВ / $T_{1/2} \approx 85$ нс/, проявляются переходы 92; 137; 185 кэВ и 115; 160; /208?/; /247?/ кэВ, разряжающие уровни 224; 247 кэВ. Это указывает на то, что уровни 224 и 247 кэВ связаны с распадом неидентифицированного изомера с $T_{1/2} \approx 50$ нс.

Идентификация этого изомера с уровнем 247 кэВ или 224 кэВ исключается, т.к. в этом случае трудно объяснить сильную заторможенность всех переходов, разряжающих эти состояния /см. табл. 4/. Периоды полураспада уровней 224 и 247 кэВ по мгновенным компонентам временных распределений γ - γ_{92} и γ - γ_{115} кэВ можно оценить как $T_{1/2} \leq 5$ нс.

Так как в "стоповых" спектрах не проявились какие-либо переходы с $E_\gamma \geq 50$ кэВ, которые можно было бы идентифицировать как переходы, разряжающие искомое

изомерное состояние, следует заключить, что оно разряжается низкоэнергетическими переходами /возможно, переходом 29 кэВ, проявившимся в "стоповых" спектрах/.

Временные распределения совпадений с переходами 92; 115; 160; 206; 219 и 259 кэВ подтверждают выводы об изомерах с $T_{1/2} = 85$ нс и $T_{1/2} = 50$ нс.

3.3.4. Изомер $11/2^-$ с энергией 234,4 кэВ

В спектре конверсионных электронов фракции Но обнаружены линии /табл. 1/, которые следует отнести к γ -переходам, связывающим изомерное состояние 234 кэВ / $11/2^-$ / с уровнями 225 / $9/2^-$ / - $\gamma 9,1$ (M1), 154 / $13/2^+$ / - $\gamma 79,8$, 132 / $9/2^+$ / - $\gamma 102$, и 87 кэВ / $7/2^-$ / - $\gamma 147,6$ кэВ (E2) и уровня 225 кэВ / $9/2^-$ / с уровнями 87 / $7/2^-$ / - $\gamma 138,5$ (M1+E2) и 39 кэВ / $5/2^-$ / - $\gamma 185,9$ кэВ. Такая разрядка изомера $11/2^-$ согласуется с наблюдаемым в реакции $(\alpha, 3n)^{13}/$ распадом этого состояния. Поэтому можно предположить, что при распаде ^{155}Ho возбуждаются высокоспиновые состояния 234 кэВ / $11/2^-$ /, 225 кэВ / $9/2^-$ /, 154 / $13/2^+$ / и 132 кэВ / $9/2^-$ /.

3.4. Времена жизни уровней ^{155}Dy

Нами в совпадениях γ -L39, γ -K136+L87 и γ -K163 кэВ были уточнены значения периодов полураспада /или их оценки/ для уровней 39, 136 и 202 кэВ. Временные распределения совпадений γ -L39 и γ -K136+L87 кэВ приведены на рис. 6. С целью определения верхнего предела периода полураспада уровня 247 кэВ измерялись совпадения γ -K115 кэВ. Так же как и в совпадениях γ - γ 115 кэВ /см. 3.3.3./, во временном распределении γ -K115 кэВ проявились мгновенный и два задержанных компонента. Как уже рассматривалось выше, задержанный компонент с $T_{1/2} \approx 85$ нс определяет время жизни уровня 132 кэВ, а компонент с $T_{1/2} \approx 50$ нс - состояния с энергией выше 247 кэВ, поэтому время жизни уровня

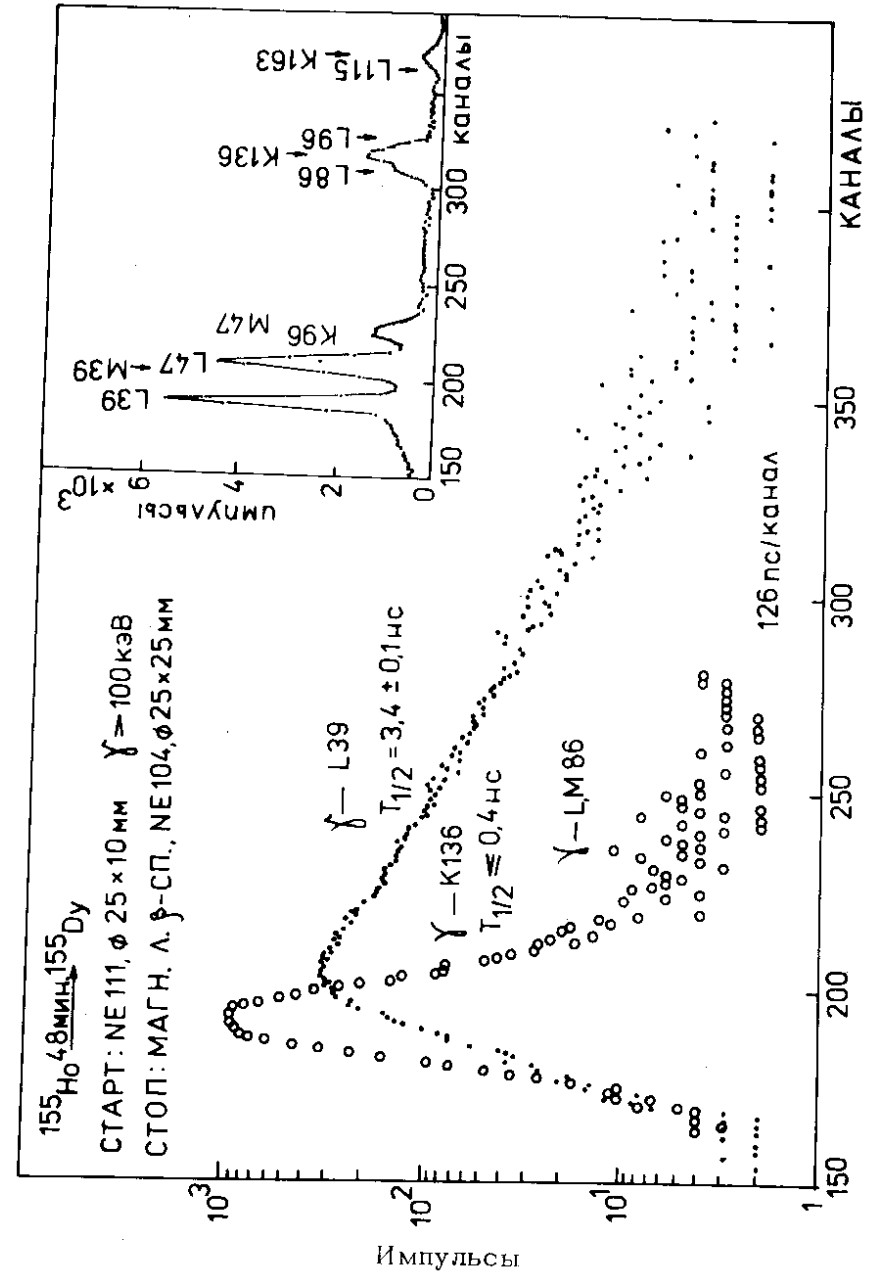


Рис. 6. Временные распределения e - γ совпадений в ^{155}Dy . На вставке приведен спектр ЭВК ^{155}Ho .

247 кэВ оценено по правому склону кривой γ -K115 кэВ как $T_{1/2} < 1$ нс.

В табл. 3 приведены все известные значения периодов полураспада возбужденных состояний ^{155}Dy .

Таблица 3
Периоды полураспада возбужденных состояний ^{155}Dy

Е ур, кэВ	I^{π}	$T_{1/2}$, нс, наст. работа	$T_{1/2}$, нс, литер.
39,4	$5/2^-$	$3,4 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,3$ /8/
86,8	$7/2^-$	-	$1,1 \pm 0,2$ /8/
132,2	$9/2^+$	85 ± 10	-
136,3	$5/2^-(3/2^-)$	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$ /8/
202,3	$3/2^-(5/2^-)$	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$ /8/
224,4	$7/2^-$	≤ 5	-
234,4	$11/2^-$	-	$(6 \pm 1) \cdot 10^{3/26}$
240,1	$3/2^+$	-	$\leq 0,7$ /8/
247,8	$5/2^+$	≤ 1	-
>247,8		50 ± 10	

Используя эти значения периодов полураспада, полученные экспериментальные данные об энергиях, интенсивностях и мультипольном составе γ -переходов и исходя из схемы уровней ^{155}Dy , приведенной на рис. 5, мы определили приведенные вероятности γ -переходов, разряжающих рассматриваемые состояния - /табл. 4/.

Экспериментальные значения $B(\sigma L)$ сравниваются с теоретическими оценками по Вайскопфу /21/, по Нильсону /22/ с учетом парных корреляций F_N^{FP} и без учета F_N^{FP} .

Таблица 4

Вероятности γ -переходов в ^{155}Dy

Е ур (кэВ) $T_{1/2}$ (с)	F_{γ} (кэВ)	212K $M1, 2^+$ начальн. состоян.	конечн. состоян. $G1, 1^-$	σ_{γ}^2	$\alpha_{\text{полн}}^{[28]}$	$B(\sigma L)$	F_{ω}	F_N	F_N^{FP}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
39,4	39,4	53 52I	33 52I	M1	5,2-2	1,3-2	1,4+2	2,3	pot
3,4-9				E2	1,3+1	6,4-1	7,8-3	-	pot
86,8	47,4	73 52I	53 52I	M1	1,5-2	5,0-2	3,6+1	8,3-1	pot
1,1-9				E2	4,2	4,8-1	1,0-2	-	pot
132,2	86,8			E2	4,7	3,9-1	1,3-2	-	pot
8,5-8	45,4	21-9+	73 52I	E1	4,8-1	3,7-7	9,1+3	4,8-2	8,2-3
136,3	49,5	55 523	73 52I	M1		$\geq 1,6-3$	$\leq 1,2+3$	$\leq 1,4$	$\leq 1,4$
$\leq 4-10$				E2		$\geq 1,2-2$	$\leq 4,2-1$	$\leq 7,6-4$	$\leq 4,4-4$
	96,9		53 52I	M1	5,0-2	$\geq 8,6-3$	$\leq 2,1+2$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
				E2	2,7	$\geq 6,6-2$	$\leq 7,5-2$	$\leq 2,4-4$	$\leq 1,4-4$
	136,3		33 52I	M1	3,8-2	$\geq 1,2-2$	$\leq 1,4+2$	$\leq 2,3$	$\leq 2,2$
				E2	1,0	$\geq 3,7-2$	$\leq 1,4-1$	$\leq 2,0-4$	$\leq 1,7-4$
	66,1	33 533	55 523	M1	1,8-1	$\geq 1,1-2$	$\leq 1,7+2$	$\leq 7,0$	$\leq 4,9$
202,3				E2	9,0	$\geq 6,2-1$	$\leq 8,0-3$	$\leq 3,1-3$	$\leq 4,9-4$

Продолжение таблицы 4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
163,0	53 52I	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI
202,4	33 52I	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2
224,4	92,2	75 523	2I ⁻⁹⁺	E1	3,2	≥ 2,2-8	≥ 1,5+5	-	-
≤ 5-9	137,8	73 52I	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI
234,4	9,1	III 505	93 52I	MI	MI	MI	MI	MI	MI
6,0-6									
240,1	37,8	2I ⁻³⁺	33 532	(E1)	8,0-I	≥ 8,3-6	≤ 4,0+2	-	-
≤ 7-10	103,8		53 523	E1	2,8-I	≥ 6,7-7	≤ 5,1+3	-	-
	161,1		53 521	E1	4,8-2	≥ 1,4-8	≥ 2,4+5	-	-
	203,4		33 521	E1	3,0-2	≥ 3,1-7	≤ 1,1+4	-	-
	247,7		55 523	E1	2,1-I	≥ 7,1-8	≤ 5,8+4	-	-
247,8	111,4	2I ⁻⁵⁺	2I ⁻⁹⁺	E2	1,6	≥ 3,9-I	≤ 1,3-2	-	-
≤ 1-9	115,5		73 521	E1	8,7-2	≥ 4,1-8	≤ 8,0+4	-	-
	161,1		53 521	E1	4,4-2	≥ 1,3-7	≤ 2,7+4	-	-
	203,4		33 521	E1	2,8-2	≥ 8,5-8	≤ 4,0+4	-	-
	247,7								

Примечание: Запись типа 2,8-2 означает 2,8x10⁻².

B(σL) для электрических переходов даны в единицах e²L и /я.м./² для M1 переходов. Приведенные вероятности по Нильссону вычислены при ε₄ = 0,188 ε₄ = 0,027/27.

4. АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТЕЙ γ-ПЕРЕХОДОВ В ¹⁵⁵Dy

4.1. Изомерные состояния 11/2⁻ и 9/2⁺

Изомерное состояние 11/2⁻ 11/2⁻ [505] с энергией 234 кэВ связано E2- и M1-переходами с уровнями 7/2⁻ и 9/2⁻ ротационной полосы основного состояния 3/2⁻ [521] и E1-переходами - с уровнями 9/2⁺ и 13/2⁺ аномальной ротационной полосы, образованной конфигурационным смешиванием одночастичных состояний, исходящих из подоболочки i_{13/2} и орбиталей 1/2⁺ [400] и 3/2⁺ [402] подоболочки d_{3/2}^{13/2}. Все эти переходы сильно заторможены относительно оценок по Вайскопфу, и их вероятности согласуются с систематикой соответствующих переходов в соседних нечетно-нейтронных ядрах. Значения вероятностей переходов, разряжающих состояния 11/2⁻ в ^{151,153}Sm, ^{153,155}Cd и ^{155,157}Dy, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Приведенные вероятности γ-переходов, разряжающих состояния 11/2⁻ 11/2⁻ [505] в ядрах с N = 89 и 91

Ядро	Бур, кэВ	E _γ , кэВ	E _γ , кэВ	E _γ , кэВ	E _γ , кэВ
	T _{1/2} , нс	B(E1, 11/2 ⁻ → 9/2 ⁺)	B(E1, 11/2 ⁻ → 13/2 ⁺)	B(E2, 11/2 ⁻ → 9/2 ⁺)	B(M1, 11/2 ⁻ → 9/2 ⁺)
		e ² δ	e ² δ	e ² δ ¹	μ _N ²
¹⁵¹ Sm ^{a)}	261	170	113	195	86
⁶² Sm ₈₉	1,4-6	3,1-10	2,2-10	4,0-5	4,5-7
¹⁵³ Sm ^{a)}	98	33			
⁶² Sm ₉₁	1,1-2	5,4-12			
¹⁵³ Gd ^{a)}	171	76		78	
⁶⁴ Gd ₈₉	7,9-5	4,8-11		1,0-5	
¹⁵⁵ Gd ^{a)}	121	14			
⁶⁴ Gd ₉₁	3,1-2	3,9-12			
¹⁵⁵ Dy ^{a)}	234	102	80	147	9
⁶⁶ Dy ₈₉	6,0-6	4,5-11	2,6-12	5,4-7	≤ 1,2-5
¹⁵⁷ Dy ^{b)}	199	37		51	
⁶⁶ Dy ₉₁	1,9-2	1,4-12		8,0-8	

a/ - результаты работы /23/6/ работы /24/.

Уровень $9/2^+$ с энергией 132 кэВ является самым нижним состоянием аномальной ротационной полосы положительной четности. Такие же состояния наблюдаются в соседних ядрах ^{151}Sm и ^{157}Dy . Рассматриваемые состояния разряжаются E1-переходами на уровни с $I^\pi = 7/2^-$. Вероятности этих переходов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вероятности E1-переходов $9/2^+ \rightarrow 7/2^-$ в ^{151}Sm , $^{155,157}\text{Dy}$

Ядро	$E_{ур}$, кэВ	$T_{1/2}$, нс	E_{γ} , кэВ	$B(E1)$, $e^2\delta$	F_{κ}	литература
$^{151}_{62}\text{Sm}_{89}$	91,5	78	25,7	1,1-6	2,9+3	/23/
$^{155}_{66}\text{Dy}_{89}$	132,3	85	45	3,7-7	9,1+3	наст. работа
$^{157}_{66}\text{Dy}_{91}$	162,2	1300	14	9,0-8	2,1+5	/24/

Анализ табл. 5 и 6 показывает, что вероятности рассматриваемых переходов в ядрах с $N=89$ и 91 возрастают с уменьшением N и Z . Это, по-видимому, можно объяснить тем, что с уменьшением деформации /связанным с уменьшением N и Z / в ядрах происходит усиление кориолисова взаимодействия, приводящего к ускорению γ -переходов.

4.2. Уровни 39,4 и 86,8 кэВ

Громовым и др.^{/3/} было предложено идентифицировать состояния 39 и 87 кэВ как ротационные уровни $5/2^-$ и $7/2^-$ полосы основного состояния ^{155}Dy с характеристиками $3/2^-$ [521]. Такой же интерпретации этих состояний придерживаются авторы более поздних работ /5,7,12/. В самой последней работе /13/, посвященной анализу свойств возбужденных состояний нечетных ядер Dy, предлагается основному состоянию ^{155}Dy , в соответствии со сферической конфигурацией $2f_{7/2}$ основного состояния соседнего нечетного ядра ^{153}Dy , приписать нильсоновские характеристики $3/2^-$ [532]. Таким образом, вопрос

об интерпретации основного состояния ^{155}Dy пока остается открытым.

Вероятности E2-составляющих переходов 39, 47 и 87 кэВ соответствуют ротационной природе уровней 39 и 87 кэВ. Определенные в адиабатическом приближении из этих величин $B(E2)$ значения внутреннего квадрупольного момента и параметра деформации /табл. 7/ согласуются в пределах экспериментальных ошибок между собой.

Таблица 7

Анализ внутривротационных переходов в ^{155}Dy

E_{γ} , кэВ	$2i_1, 2h^{\pi} \rightarrow 2i_2, 2h^{\pi}$	Q_0, δ	$ g_K - g_{K'} $	β	ϵ
39,4	$53^- \rightarrow 33^-$	4,3(5)	0,31(2)	0,20(2)	0,18(2)
47,4	$73^- \rightarrow 53^-$	4,7(9)	0,51(8)	0,22(4)	0,20(3)
86,8	$73^- \rightarrow 33^-$	5,2(8)		0,24(3)	0,22(3)

4.3. Уровни 136,3 и 202,3 кэВ

Авторы работы /5/ предлагают рассматривать уровни 136 и 202 кэВ как основные состояния ротационных полос с характеристиками $5/2^-$ [523] и $3/2^-$ [532], соответственно.

Рассмотрим значения нижних пределов приведенных вероятностей γ -переходов, разряжающих эти состояния /табл. 4/. Вероятности M1 и E2-составляющих всех этих переходов, за исключением E2-компонента перехода 66 кэВ, связывающего уровни 136 и 202 кэВ, не противоречат рассмотрению их как одночастичных переходов. Значение $B(E2) \geq 0,6 e^2 b^2$ для перехода 66 кэВ указывает на его сильное ускорение, характерное для переходов между сильно коллективизированными состояниями. В соответствии с этим можно предположить, что конфигурация уровня 136 кэВ определяется сильным кориолисовым взаимодействием орбиталей $5/2^-$ [523] и $3/2^-$ [532].

Возможна и другая интерпретация сильного ускорения E2 составляющей перехода 66 кэВ. Для уровней 136 и 202 кэВ экспериментальные данные допускают значение спина как $I^\pi = 3/2^-$, так и $I^\pi = 5/2^-$. Поэтому уровни 136 и 202 кэВ можно рассматривать как основное $I = 3/2^-$ и первое возбужденное $I = 5/2^-$ состояния ротационной полосы с $K^\pi = 3/2^-$. При этом из оценки $B(E2)$ перехода 66 кэВ вытекает значение квадрупольного момента полосы $Q_0 \geq 4,3$ б, согласующееся со значениями для полосы основного состояния ^{157}Dy .

Судя по величине $B(E2)$ для перехода 66 кэВ / близкое к максимальным предельным значениям / время жизни уровня 202 кэВ близко к его оценке $T_{1/2} \leq 0,4$ нс. Исходя из этого, можем заключить, что согласие теории с экспериментом при переходе от оценок Вайскопфа к оценкам по Нильссону улучшается для M1 составляющих ($F_w(M1) \geq 10^2 \div 10^3$, $F_N(M1) \geq 1 \div 10$) и ухудшается для E2-компонентов ($F_w(E2) \geq 10^{-1} \div 10^{-2}$, $F_N(E2) \geq 10^{-3} - 10^{-4}$) переходов, связывающих уровни 202 и 136 кэВ с состояниями ротационной полосы основного состояния.

Более определенные выводы о физической природе уровней ^{155}Dy , по-видимому, можно будет сделать после проведения расчетов энергетики ротационных полос и вероятностей электромагнитных переходов в рамках неадиабатической модели с учетом кориолисова взаимодействия /25/.

5. ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований распада $^{155}\text{No} \rightarrow ^{155}\text{Dy}$ позволили:

1. Установить возбуждение при распаде ^{155}No высочайших состояний ^{155}Dy 132,2 кэВ / $9/2^+$ /, 154,4 кэВ / $13/2^+$ /, 225,3 / $9/2^-$ / и 234,4 кэВ / $11/2^-$ /.
2. Определить для уровня 132,2 кэВ, а для уровней 224,4 и 247,8 кэВ оценить значения периодов полураспада.

3. Уточнить энергии, интенсивности и мультипольный состав ряда γ -переходов, разместить в схеме уровней ^{155}Dy несколько новых γ -переходов.
4. Ввести в схему уровней ^{155}Dy два новых состояния с энергиями 351,1 / $7/2^+$ / и 399,0 кэВ / $5/2^-$, $7/2^+$ /, уточнить энергии и спины некоторых уровней.

5. Провести анализ вероятностей γ -переходов, разряжающих нижние возбужденные состояния ^{155}Dy .
6. Обнаружить изомер с $T_{1/2} \approx 50$ нс, расположенный в схеме уровней ^{155}Dy выше уровня 247,8 кэВ.

Результаты настоящей работы являются основой для дальнейших исследований, связанных с изучением предполагаемого изомера / $T_{1/2} = 50$ нс / и возможным уточнением энергий переходов и уровней ^{155}Dy .

ЛИТЕРАТУРА

1. Далхсурен Б. и др. АЭ, 1960, 8, с.248.
2. Калямин А.В., Левенберг И.Ю., Яковлев В.А. АЭ, 1959, 6, с.582.
3. Громов К.Я., Мухтасимов Ф.Н., Умаров Г.Я. Программа и тезисы докладов XVI ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", М., 1966, с.41.
4. Авотина М.П., Григорьев Е.П. ЯФ, 1967, 5, с.11.
5. Torres J.P., e.a. Nucl.Phys., 1967, A189, p.609.
6. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, Д6-8846, Дубна, 1975.
7. Kroger L.A., Reich C.W. Nucl.Data Sheets, 1975, 15, p.409.
8. Kilcher P. e.a. C.R.Acad.Sci. Paris, 1977, 275, B-877.
9. Будзынски М. и др. ЯФ, 1975, 21, с.913.
10. Grottdal T., Nybo K., Elbek B. Mat.Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 1970, 37, No. 12.
11. Krien K. e.a. Nucl.Phys., 1973, A209, p.572.
12. Straume O., Burke D.G., Tjorsteinsen T.E. Can. J.Phys., 1976, 54, p.1258.
13. Hjorth S.A., Klamra W. Z.Physik., 1977, A283, p.287.
14. Мольнар Ф., Халкин В., Херрманн Э. ЭЧАЯ, 1973, 3, с.1077.
15. Афанасьев В.П. и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.

16. Вылов Ц. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, Атомиздат, М., в 1977, вып. 6, с.59.
17. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-4363, Дубна, 1969.
18. Вылова Л.А. и др. ПТЭ, 1974, №1, с.64-67.
19. Андрейчев В. и др. ОИЯИ, Р13-11312, Дубна, 1977.
20. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р13-10911, Дубна, 1977.
21. Löbner K. E.G. In: *The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy*, ed. W.D.Hamilton (North-Holland, Amsterdam, 1975).
22. Gustafson C. e.a. *Ark.Phys.*, 1967, 36, p.613.
23. Andrejtscheff W., Shilling K.D., Manfrass P. *Atomic Data and Nucl. Data Tables*, 1975, 16, p.515.
24. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-11687, Дубна, 1978.
25. Базнат М.И., Пятов Н.И., Черней М.И. ЭЧАЯ, 1973, т.4, с.941.
26. Borggreen J., Sletten G. *Nucl.Phys.*, 1970, A143, p.255.
27. Ekstrom C., Lamm I.-L. *Phys. Scripta*, 1973, 7, p.31.
28. Hager R.S., Seltzer E.C. *Nuclear Data Tables*, 1968, A4, p.1.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июля 1978 года.