

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-50

P6 - 11687

4704/2-78

Б.А.Аликов, В.Андрейчев, Ж.Т.Желев,
Т.А.Исламов, В.Г.Калинников, А.Караходжаев,
Г.А.Кононенко, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей,
Н.З.Марупов, Т.М.Муминов, У.С.Салихбаев,
В.И.Стегайлов, Р.Р.Усманов, Е.Г.Цой

О РАСПАДЕ ¹⁵⁷Но → ¹⁵⁷Dy

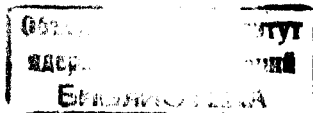
1978

P6 - 11687

Б.А.Аликов,¹ В.Андрейчев,² Ж.Т.Желев,²
Т.А.Исламов,³ В.Г.Калинников, А.Караходжаев,³
Г.А.Кононенко, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей,
Н.З.Марупов,¹ Т.М.Муминов,¹ У.С.Салихбаев,¹
В.И.Степанов, Р.Р.Усманов,¹ Е.Г.Цой⁴

О РАСПАДЕ ¹⁵⁷Но → ¹⁵⁷Ду

Направлено в "Nukleonika"



¹ Самаркандский государственный университет.

² Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН, София.

³ Ташкентский государственный университет.

⁴ Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

Аликов Б.А. и др.

Р6 - 11687

О распаде $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$

При распаде $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$ исследовались спектры электронов внутренней конверсии, $e-\gamma$ -совпадений и измерены времена жизни уровней ^{157}Dy с энергиями 61,1; 147,7; 188,0 и 341,1 кэВ. Результаты этих исследований позволили установить возбуждение при распаде ^{157}Ho изомерных состояний 161,9 ($I^\pi = 9/2^+$) и 199,2 кэВ ($I^\pi = 11/2^-$), проанализировать вероятности электромагнитных переходов в ^{157}Dy .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

© 1978 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение структуры нечетных ядер, расположенных в начале области деформированных ядер редкоземельных элементов ($N \approx 90$), позволяет получить сведения, необходимые для понимания изменения свойств ядер при переходе от сильнодеформированных нуклидов к нуклидам со слабой деформацией. Уменьшение квадрупольной деформации ядра приводит к усилению смешивания одно-квазичастичных состояний и изменяет энергетику ротационных полос. Это особенно заметно проявляется в полосе положительной четности, которая наблюдается в ряде деформированных нечетно-нейтронных ядер. В ядрах с $N = 89, 91$ / ^{151}Sm , ^{153}Gd , ^{155}Dy , ^{157}Dy , ^{159}Er , ^{161}Er / основным состоянием этой полосы становится уровень с $I^\pi = 9/2^+$, причем члены с меньшими значениями спинов / $1/2 \div 7/2$ / лежат выше и более слабо заселяются. Аномалии наблюдаются и в менее возмущенных полосах отрицательной четности. Попытки одновременного описания в рамках модели с учетом взаимодействия Кориолиса как энергетики полос положительной и отрицательной четности, так и вероятностей электромагнитных переходов в ядрах этой области, в частности, для ядер с $N = 89$, наталкиваются на определенные трудности.

Возбужденные состояния ^{157}Dy исследовались при β -распаде ^{157}Ho / $T_{1/2} = 12,6 \text{ мин} / ^{1-5} /$ и в ядерных реакциях $^{6-10} /$.

Времена жизни уровней $161 \text{ кэВ} / I^\pi = 9/2^+$, $T_{1/2} = 1,3 \pm 0,2 \text{ мкс}$ / и $188 \text{ кэВ} / I^\pi = 5/2^+$, $T_{1/2} = 1,00 \pm 0,15 \text{ нс}$ / измерялись в реакции $(\alpha, 2n)^{117}$, а уровни $199 \text{ кэВ} / I^\pi = 11/2^-$, $T_{1/2} = 19,2 \pm 0,5 \text{ мс}$ / - в реакциях $(\alpha, 2n)$, $(\alpha, 3n)$ и $(p, 3n)^{18}$.

В настоящей работе установлено возбуждение в ядре ^{157}Dy при распаде ^{157}Ho изомерных состояний с $I^\pi = 9/2^+$ и $11/2^-$ и измерены времена жизни уровней 61, 147, 188 и 341 кэВ.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1. Радиоактивные источники

Исследования времен жизни и $e-\gamma$ -совпадений проводились с радиоактивными источниками изобары с $A = 157$, полученными в реакции глубокого расщепления при облучении танталовых мишеней на выведенном пучке протонов синхроциклотрона ОИЯИ / $E_p = 660 \text{ МэВ}$, $I_p = 0,1 \text{ мкА}$ /. Облученная мишень /танталовая фольга толщиной 50 мкм, весом $\sim 0,5 \text{ г}$ / при помощи пневмопочты транспортировалась к электромагнитному масс-сепаратору^{12/} и помещалась в трубчатый ионный источник с поверхностной ионизацией. При нагревании мишени в ионном источнике ядра - продукты ядерных реакций испарялись из мишени, ионизировались и разделялись в сепараторе по массам^{13/}. На коллекторе сепаратора ионы внедрялись в алюминиевые фольги толщиной 5-10 мкм.

Источники для магнитных β -спектрографов готовились методом электролитического осаждения фракции изотопов Er и Ho , выделенных радиохимическим методом^{14/} из облученной мишени на платиновую нить $\phi 0,1 \text{ мм}$. Причем время с конца облучения до начала измерения составляло $\sim 50 \text{ мин}$; на каждом источнике измерялись три последовательные серии с временами экспозиции 40 мин, 2 ч и 8 ч соответственно.

2.2. Аппаратура

Спектры конверсионных электронов исследовались при помощи безжелезного β -спектрометра с тороидальным магнитным полем - СТ2^{15/} / $\Delta H_p / H_p = 1,1\%$, $T = 20\%$ / и магнитных β -спектрографов с однородным полем / $\Delta H_p / H_p = 0,03 \div 0,07\%$ /^{16/}.

Исследования $e-\gamma$ -совпадений проводились на установке^{17/}, собранной на базе β -спектрометра СТ2 и γ -спектрометра с Ge(Li) -детектором / $V = 40 \text{ см}^3$, $\Delta E_\gamma = 3,5 \text{ кэВ}$ на $E_\gamma = 1,330 \text{ МэВ}$ /. Временное разрешение установки составляло $2\tau_0 = 30 \text{ нс}$.

Времена жизни возбужденных состояний измерялись на многоканальном временном анализаторе^{18/}, собранном на базе магнитно-линзового β -спектрометра и сцинтилляционного γ -спектрометра /сцинтиллятор - NE104 $\phi 25 \times 25 \text{ мм}$, фотоумножитель - XP1020/. Временное разрешение установки составляло $2\tau_0 < 1 \text{ нс}$.

Временные спектры обрабатывались на ЭВМ CDC 6500 по программам^{19/} "LIFTIM" и "MOMENT".

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе экспериментальных результатов мы исходили из схемы распада ^{157}Ho , предложенной в работе^{4/}.

3.1. Спектры $e-\gamma$ -совпадений

В спектре конверсионных электронов $^{157}\text{Er} + ^{157}\text{Ho}$, измеренном на β -спектрометре СТ2 /вставка на рис. 1/, были обнаружены конверсионные электроны с энергиями $E_e = 17,4$ и $18,2 \text{ кэВ}$, которые идентифицированы нами как L_{II} и L_{III} электроны $E2$ -перехода с энергией 26 кэВ .

На рис. 1 приведен спектр совпадений L_{III} электронов перехода 26 кэВ с γ -лучами. Анализ этого спектра позволяет установить, что переход 26 кэВ происходит в ядре ^{157}Dy . Фрагмент схемы распада $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$, поясняющий интерпретацию полученных экспериментальных данных, приведен на рис. 2.

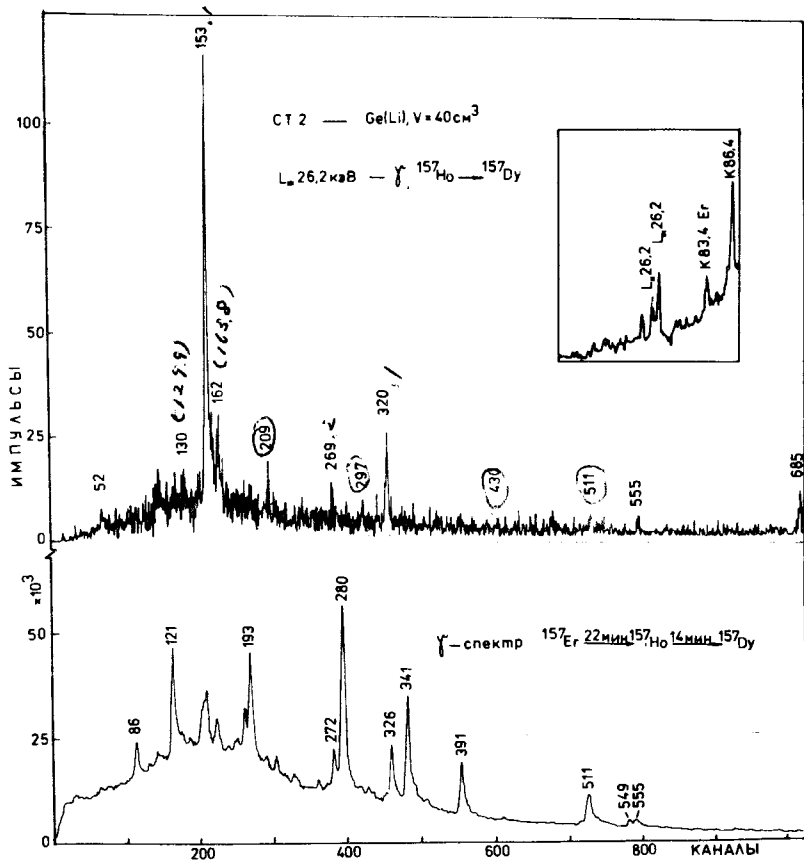


Рис. 1. Спектр совпадений γ -лучей ^{157}Ho с электронами $L_{III} 26$ кэВ.

Проявление в спектре совпадений переходов 153 и 320 кэВ, а, с другой стороны, отсутствие совпадений $L_{III} 26$ кэВ с переходами, разряжающими уровни 147 и 61 кэВ, позволяют разместить переход 26 кэВ между уровнем 188 кэВ / $I^\pi = 3/2^+, 5/2^+ / 4/$ / и изомерным состоянием 162 кэВ с $I^\pi = 9/2^+$ и $T_{1/2} = 1,3$ мкс, наблюдавшимся ранее в ядерных реакциях $^{111}\text{В}$ соответствии с этим уровню 188 кэВ необходимо однозначно приписать $I^\pi = 5/2^+$.

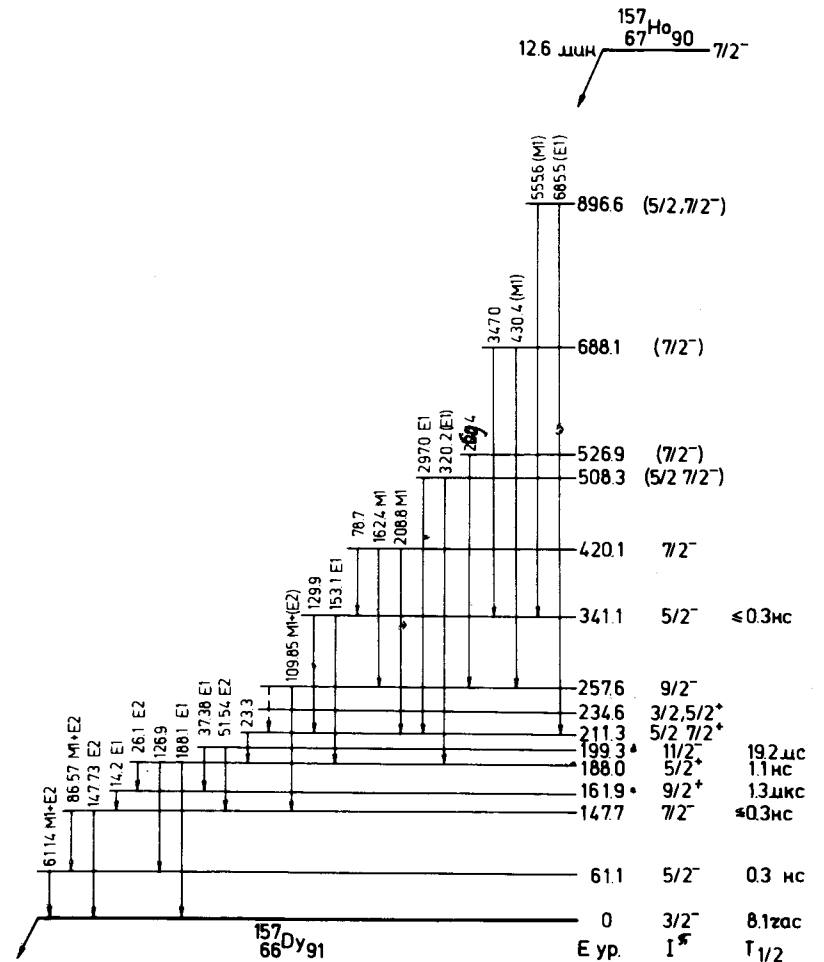


Рис. 2. Фрагмент схемы распада $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$.

Проявление в спектре совпадений переходов, заселяющих уровни 211 кэВ / $\gamma 130, \gamma 209, \gamma 297$ и $\gamma 685$ кэВ / и 257 кэВ / $\gamma 162, \gamma 269$ и $\gamma 430$ / свидетельствует о том, что эти состояния связаны прямыми /или каскадными - для уровня 257 кэВ/ переходами с уровнем 188 кэВ.

Полная интенсивность перехода 26 кэВ оценена из сравнения интенсивностей его L_{II} и L_{III} электронов с интенсивностью электронов К86 кэВ как $14 \pm 2\%$ от $I_{\text{полн.}} \gamma 86 \text{ кэВ}$.

3.2. Спектры ЭВК

В спектре конверсионных электронов, измеренном на магнитном β -спектрографе, наблюдались электроны γ -переходов 14,2 кэВ (E_1), 37,4 кэВ (E_1) и 51,5 кэВ (E_2) /табл. 1/. Эти переходы в схеме уровней ^{157}Dy , предложенной на основе изучения ядерных реакций $^{159}\text{Tb}(p, 3n)^{157}\text{Dy}$, $^{155}\text{Gd}(\alpha, 2n)^{157}\text{Dy}$ и $^{156}\text{Gd}(\alpha, 3n)^{157}\text{Dy}$ /2/, разряжают изомерные состояния 199,2 кэВ / $I^\pi = 11/2^-$ / и 161,9 кэВ / $I^\pi = 9/2^+$ /. Поэтому можно заключить, что при распаде $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$ возбуждаются указанные изомерные состояния $11/2^-$ и $9/2^+$.

В спектре ЭВК обнаружены также электроны с $E_e = 14,27$ и $E_e = 21,27$ кэВ, которые интерпретированы нами как L_I и M_I электроны γ -перехода 23,3 кэВ.

Таблица 1

Энергии и относительные интенсивности ЭВК γ -переходов при распаде $^{157}\text{Ho} \rightarrow ^{157}\text{Dy}$

$E_{\gamma}(\text{кэВ})$	L_K	L_L	L_{II}	L_{III}	L_{IV}	$E_{\text{ур}}^i \rightarrow E_{\text{ур}}^f$	Вывод о мультипольности
14,20(5)		15	10			161,9 — 147,7	E_1
23,32(5)		9			44	211,2 — 188,1	-
26,09(4)			5	6		188,1 — 161,9	(E_2)
37,38(5)		7	4	5		199,1 — 161,9	E_1
51,54(5)		2	10	12		199,1 — 147,7	E_2
61,14(3)	200	38	11	10		61,1 — 0	$M_1 + (4,6 \pm 0,5)\% E_2$
86,57(3)	84	10	1,3			147,7 — 61,1	$M_1 + (E_2)$
109,85(4)	4,5	0,5				257,6 — 147,7	$M_1 + (E_2)$

В соответствии с анализом результатов $e-\gamma$ -совпадений /см. 3.1/ этот переход размещен между уровнями 211 и 188 кэВ.

Кроме того, результаты β -спектрографических исследований позволили нам уточнить мультипольный состав γ -перехода 61,1 кэВ как $M_1 + 4,6 \pm 0,5\% E_2$ /из отношения $L_I/L_{II} = 3,45 \pm 0,50$ и $L_{II}/L_{III} = 1,1 \pm 0,1$ /. Ранее мультипольный состав этого перехода был определен как $E_2/M_1 < 0,2^{1/4}$ и $E_2/M_1 = 1/3,0 \pm 0,6 \times 10^{-2}$ /3/.

3.3. Времена жизни уровней 61,1; 147,7; 188,0 и 341,1 кэВ

Время жизни уровня 61 кэВ $T_{1/2} = 0,30 \pm 0,05$ нс было определено по смещению центров тяжести временного распределения совпадений $\gamma/100-200$ кэВ /- L 61 кэВ в ^{157}Dy от реперной кривой γ -K109 кэВ в ^{169}Tm , измеренных в одинаковых условиях.

Время жизни уровня 188 кэВ измерялось в совпадениях L электронов внутренней конверсии перехода 26 кэВ с γ -лучами. Экспоненциальный спад правого склона временной кривой γ -L 26 кэВ - $T_{1/2} = 1,1 \pm 0,1$ нс хорошо согласуется с известным значением периода полураспада уровня 188 кэВ $T_{1/2} = 1,00 \pm 0,15$ нс /11/. Это - еще один аргумент в пользу того, что переход 26 кэВ разряжает уровень 188 кэВ. Временные спектры этих измерений приведены на рис. 3.

Периоды полураспада уровней 147 и 341 кэВ были оценены как $T_{1/2} \leq 0,3$ нс в совпадениях γ -L86 и γ -K180 кэВ, соответственно.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из экспериментальных значений времен жизни $T_{1/2}$ возбужденных ядерных состояний на основе данных об интенсивностях I_{γ} и I_e , мультипольностях σ_L и полных коэффициентах внутренней конверсии $\alpha_{\text{полн.}}$ определены приведенные вероятности γ -переходов $B(\sigma_L)$.

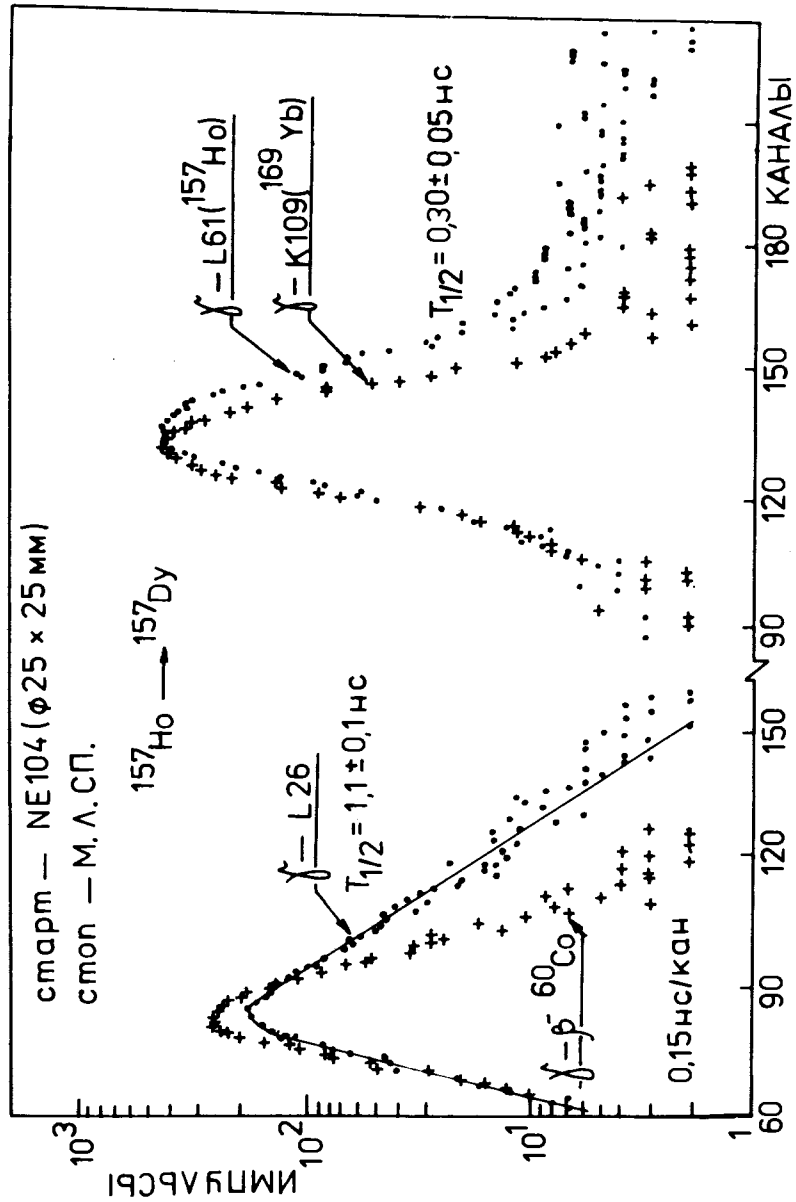


Рис. 3. Временные распределения совпадений γ - L61 и γ - L26 кэВ, измеренные при распаде ^{157}Ho .

Сравнение экспериментальных значений $B(\sigma L)$ с модельными расчетами по Вайскопфу^{/20/} и Нильссону^{/21/} (F_N^p - с учетом парных корреляций и без учета $F_N^p = \frac{N}{N} B(\sigma L)_{\text{теор.}} / B(\sigma L)_{\text{эксп.}}$), проводится в табл. 2.

Уровни 61 кэВ / $I^\pi = 5/2^-$ / и 147 кэВ / $I^\pi = 7/2^-$ / являются соответственно первым и вторым возбужденными состояниями ротационной полосы основного состояния $^{157}\text{Dy } 3/2^- / 521 / ^{4/}$.

Из величины приведенной вероятности E2-составляющей внутривротационного перехода 61 кэВ / $5/2^- \rightarrow 3/2^-$ / можно определить значение внутреннего квадрупольного момента и параметра квадрупольной деформации полосы $3/2^- [521]$: $Q_0 = 5,2 \pm 0,76$ и $\beta = 0,23 \pm 0,3$. Верхняя граница полученного значения квадрупольного момента $Q_0 \leq 5,96$ согласуется со значениями $Q_0 \approx 66$ для соседних четно-четных ядер $^{156}, ^{158}\text{Dy} / ^{22/}$.

Из приведенной вероятности M1-составляющей перехода 61 кэВ вытекает значение разности гироманнитных отношений для рассматриваемой ротационной полосы $|g_K - g_R| = 0,50 \pm 0,04$.

Вероятность E2-перехода 26 кэВ, связывающего уровни 188 кэВ / $I^\pi = 5/2^+$ / и 162 кэВ / $I^\pi = 9/2^+$ / в ^{157}Dy , характерна для внутривротационных переходов. Это позволяет заключить, что уровни $5/2^+$ и $9/2^+$ аномальной ротационной полосы положительной четности имеют один и тот же лидирующий компонент. Это заключение находится в согласии с результатами расчетов кориолисова смешивания с учетом $\Delta N = 2$ взаимодействия полос положительной четности в $^{157}\text{Dy} / ^{10/}$.

Для M1-переходов 193, 280 и 341 кэВ полученные значения нижних границ приведенных вероятностей согласуются с систематикой аналогичных переходов, связывающих полосы $5/2^- [523]$ и $3/2^- [521]$ в соседних нечетно-нейтронных ядрах^{/23/}.

E1-переходы, связывающие состояния 162 / $9/2^+$ / и 188 кэВ / $5/2^+$ / с уровнями ротационной полосы основного состояния $3/2^- [521]$ заторможены относительно одночастичных оценок по Вайскопфу $F(E1)_W \approx 10^5$, в то время как переход 37 кэВ, связывающий состояния 199

Таблица 2
Вероятности электромагнитных переходов в ^{157}Dy

$E_{ур}$ (кэВ)	$E_{у}$ (кэВ)	Начальн. состоян. $212\text{K}\eta_{\lambda}$	Конечные состояния $212\text{K}\eta_{\lambda}$	G_L	$\alpha_{\text{электр}}^{25/}$	$B(\sigma_L)$	F_{σ}	F_{π}	F_{π}°
			$^{157}\text{Dy}_{66}91$		$\xi_2 = 0,215$	$\xi_1 = -0,025$			
61,1	61,1	53521	33521	MI		4,8-2	3,3+1	7,4-1	рогац.
3,0-10				$\delta^2 = 4,8-2$		I,1+1			
				E2		8,9-1	5,5-3		рогац.
147,7	86,6	73521	53521	MI		3,7	3,8-2	4,7+1	рогац.
4,3-10	147,7		33521	E2		6,6-1	1,8-1	2,8-2	рогац.
162,2	14,2	$I^{\pi} = 9/2^+$	53521	E1		1,2+1	9,0-8	3,7+4	-
1,3-6									
188,1	26,2	$I^{\pi} = 5/2^+$	$I^{\pi} = 9/2^+$	E2		1,1+3	1,7	3,0-3	-
1,1-9	126,9		53521	E1		1,6-1	1,2-7	2,8+4	-
	188,1		33521	E1		5,8-2	2,8-7	1,2+4	-
199,3	37,4	III 505	$I^{\pi} = 9/2^+$	E1		8,3-1	1,4-12	2,3+9	-
1,92-2	51,5		73521	E2		4,0+1	8,0-8	6,3+4	2K
341,1	106,5	55523	$I^{\pi} = 3/2, 5/2^+$	E1		2,6-1	3,8-8	2,8+4	-
4,3-10	129,9		$I^{\pi} = 5/2, 7/2^+$	E1		1,5-1	8,8-8	3,7+4	-
	153,1		$I^{\pi} = 5/2^+$	E1		9,9-2	2,1-7	1,6+4	-
	193,4		73521	MI		3,8-1	2,3-3	7,7+2	4,3-2
	280,0		53521	MI		1,4-1	2,3-3	7,9+2	3,2-1
	341,1		33521	MI		8,2-2	9,7-4	1,8+3	1,8

Примечание к таблице 2. Теоретические значения равновесной деформации ϵ_2 и ϵ_4 взяты из работы /24/. Запись типа 4,8-2 означает $4,8 \cdot 10^{-2}$. Приведенные вероятности $B(\sigma_L)$ даны в единицах $e^2 \text{б}^2$ для электрических и (я.м.) 2 для магнитных переходов.

/11/2 $^-$ / и 162 кэВ /9/2 $^+$ /, имеет значение $F(E1)_W = 1,3 \cdot 10^{10}$. Это свидетельствует о наличии сильного запрета для последнего перехода по квантовому числу К. Аналогично запрет по квантовому числу К имеет E2-переход 51,5 кэВ 11/2 11/2 $^-$ [505] \rightarrow 7/2 3/2[521]; $F(E2)_W = 6,3 \cdot 10^4$.

Для более точного расчета теоретических вероятностей γ -переходов в ^{157}Dy , особенно связанных с заселением или разрядкой сильносмешанных состояний положительной четности, необходимо учитывать взаимодействие Кориолиса. В настоящее время такие расчеты нами проводятся и будут опубликованы позднее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желев Ж.Т. и др. ЯФ, 1965, 2, с.956.
2. Lagarde P. e.a. Journ. de Phys., 1966, 27, p.116.
3. Вылов Ц. и др. Программа и тезисы докладов XXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1972, с.120.
4. Torres J.P., Paris P., Kilcher P. Nucl.Phys., 1972, A185, p.574.
5. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, P6-6441, Дубна, 1972.
6. Grotdal T., Nybo K., Elbek B. Mat.Fys.Medd. Dan. Vid. Selsk., 1970, 37, No. 12.
7. Borggreen J., Sletten G. Nucl.Phys., 1970, A143, p.255.
8. Klamra W. e.a. Nucl.Phys., 1973, A199, p.81.
9. Beuscher H. e.a. Nucl.Phys., 1975, A249, p.379.
10. Hjorth S.A., Klamra W. Z.Physik, 1977, A283, p.287.
11. Andrejtscheff W. e.a. Nucl.Phys., 1974, A225, p.300.
12. Музиоль Г., Райко В.И., Тыррофф Х. ОИЯИ, P6-4487, Дубна, 1969.
13. Latuszynski A. e.a. JINR, E6-7780, Dubna, 1974; Nucl.Instr. and Meth., 1974, 120, p.58.
14. Мольнар Ф., Халкин В., Херрманн Э. ЭЧАЯ, 1973, 4, с.1077.
15. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, P13-10611, Дубна, 1977.
16. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, 6-4363, Дубна, 1969.
17. Кузнецов В.В. и др. Программа и тезисы докладов XXVIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1978, с.508.
18. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, P13-10911, Дубна, 1977.
19. Аликов Б.А. и др. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып. 2, с.419.

20. Lobner K.E.G. In: *The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy*. ed. W.D.Hamilton (North-Holland, Amsterdam, 1975).
21. Gustafson C. e.a. *Ark. Fys.*, 1967, 36, p.613.
22. Lobner K.E.G., Vetter M., Honig V. *Nucl.Data Table*, 1970, A7, p.495.
23. Andreitscheff W., Schilling K.D. *Atomic Data and Nucl. Data Tables*, 1975, 16, p.515.
24. Ekstrom C., Lamm I.-L. *Phys. Scripta*, 1973, 7, p.31.
25. Hager R.S., Seltzer E.C. *Nuclear Data Tables*, 1968, A4, p.1.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 июня 1978 года.