

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 341.16
3-911

74-69

14/10-75

6 - 8518 *e*

К.Зубер

976 / 2-75

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ

ИЗОТОПОВ ТЕРБИЯ

II. Распад $^{157}\text{Dy} \rightarrow ^{157}\text{Tb}$

1975

6 - 8518

К.Зубер*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
ИЗОТОПОВ ТЕРБИЯ

II. Распад $^{157}\text{Dy} \rightarrow ^{157}\text{Tb}$

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

* Институт ядерной физики, Краков, ПНР.

Зубер К.

6 - 8518

Исследование возбужденных состояний изотопов тербия.

II. Распад $^{157}\text{Dy} \rightarrow ^{157}\text{Tb}$

Исследованы спектры гамма-лучей и конверсионных электронов при распаде ^{157}Dy . Предложена схема распада $^{157}\text{Dy} \rightarrow ^{157}\text{Tb}$. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами, проведенными в рамках сверхтекучей модели с учетом взаимодействия квазичастиц с фотонами.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Введение

Исследованию свойств возбужденных состояний ^{157}Tb посвящено несколько работ /1-3, 5, 11, 12/. В работе /3/ представлена схема распада ^{157}Dy . Перссон и др. /5/ и В.Гнатович и др. /1/ исследовали спектры электронов внутренней конверсии, возникающие при распаде ^{157}Dy . Винтер и др. /11/ в опытах по $(d, 2n\gamma)$ и (p, γ) реакциям исследовали взаимодействие ротационных полос, возбужденных до спинов $I = 19/2$. Для спинов основного состояния ^{157}Tb /3/ и ^{157}Dy /10/ получено значение $3/2$.

В настоящей работе приводятся результаты измерений гамма-спектров и спектров электронов внутренней конверсии. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами /13/, проведенными в рамках сверхтекучей модели с учетом взаимодействия квазичастиц с фононами.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

а/ Приготовление радиоактивных источников ^{157}Dy

Радиоактивные изотопы диспрозия получались в реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне ОИЯИ. Мишени тантала облучались на внутреннем пучке протонов в течение 2 час. После облучения фракция диспрозия выделялась хроматографическим методом.

Для исследования гамма-спектров использовались моноизотопные источники ^{157}Dy , полученные при разделении диспрозия по изотопам на масс-сепараторе. Радиоактивные источники ^{157}Dy для исследований спектров

конверсионных электронов получались при облучении мишени $^{155}\text{Gd}_2\text{O}_3$ α -частицами с энергией 28 МэВ на циклотроне У-120 в ИЯФ /Краков/. После облучения из мишени хроматографическим методом выделялся ^{157}Dy , который наносился на алюминиевую фольгу.

б/ Исследование спектров гамма-лучей ^{157}Dy

Спектры гамма-лучей ^{157}Dy исследовались с помощью полупроводниковых Ge(Li) -детекторов с чувствительными объемами: $0,5\text{ см}^3$ /разрешение $0,8\text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 121\text{ кэВ}$ / и 41 см^3 /разрешение $2,8\text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 1332\text{ кэВ}$ /. Спектры гамма-лучей в области больших энергий измерялись путем применения фильтра-поглотителя /3 мм РЬ + 0,5 мм Gd + 0,5 мм Cu /. В табл. 1 в колонках 1 и 2 приведены результаты измерений энергий и интенсивности, соответственно. Для нормировки интенсивности гамма-лучей принято, что интенсивность перехода $326,4\text{ кэВ}$ равняется 10000 единиц. Для сравнения в колонке 3 приведены результаты работы ^{/3/}.

в/ Исследование спектров электронов внутренней конверсии /ЭВК/

Спектры ЭВК в области энергии до 1200 кэВ исследовались с помощью безжелезного тороидального бета-спектрометра ^{/4/}, с разрешением $R \approx 1\%$ и светосилой $T \approx 20\%$. Результаты исследования ЭВК приведены в табл. 1 в колонке 4. В работе ^{/5/} измерен коэффициент внутренней конверсии перехода $326,4\text{ кэВ}$ и получена величина $\alpha_k / 326,4 / = 11,6 \pm 1,5 / \cdot 10^{-3}$, что совпадает с теоретической величиной КВК для мультипольности $E1 / \alpha_{\text{теор.}} / 326,4 / = 11,3 \cdot 10^{-3} /$. Поэтому экспериментальные КВК /колонка 5/ нормированы по теоретической величине КВК-перехода $326,4\text{ кэВ}$ /мультипольность типа $E1$ /. Для сравнения в колонках 6,7 и 8 даны теоретические величины КВК для переходов с мультипольностями $M1$, $E2$ и $E1$. Из сравнения теоретических и экспериментальных величин КВК сделан вывод о мультипольностях переходов /колонка 10/.

Таблица 1.

Энергии, относительные интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов, возникающих при распаде ^{157}Dy , КВК и мультипольности переходов в ядре ^{157}Tb .

$E_\gamma \pm \Delta E_\gamma$	$I_\gamma \pm \Delta I_\gamma$	$I_\gamma \pm \Delta I_\gamma$ работа ^{/3/}	$I_{K\beta} \Delta I_{K\beta}$	$\alpha_{\text{к.р.}} \cdot 10^3$ эсп.	$\alpha_{\text{к. теор.}} \cdot 10^3$			$I_{\text{т}}$ на 10000 расп.	$I_{\text{т}}$ Мультиполь.
					$M1$	$E2$	$E1$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60.8 ± 0.05	32.1 ± 3.3	48 ± 30						326	$M1+E2$ б)
83.0 ± 0.05	43.0 ± 3.6	67 ± 20						200	$M1+E2$ б)
143.8 ± 0.2	~ 7	8	174 ± 20	~ 248	650	410	36	8.3	E2
182.6 ± 0.2	156.6 ± 7.2	240 ± 120	960 ± 50	61 ± 7	335	203	52	162	E1
265.6 ± 0.3	22.6 ± 2.4	27 ± 10	76 ± 9	34 ± 8	125	69	20	22.2	E1
296.8 ± 0.5	~ 6.5	9						6.2	
326.4 ± 0.05	10000	10000	11300	11.3	74	38	11.3	9652	E1
405.1 ± 0.1	2.4 ± 0.2	1.7	1.8 ± 0.2	7.5 ± 1.5	41	19.6	6.6	2.3	E1
498.6 ± 0.2	1.3 ± 0.1	1.1	0.7 ± 0.2	5.6 ± 1.9	24	10.8	4.2	1.2	E1
553.0 ± 0.2	1.2 ± 0.1	1.3 ± 0.4	3.5 ± 0.4	29.2 ± 6.2	18.3	9.4	3.4	1.1	$M1$
576.1 ± 0.2	3.5 ± 0.4	3.2 ± 0.6	6.5 ± 0.6	18.7 ± 2.0	16.6	8.5	3.1	3.3	$M1$
597.5 ± 0.1	8.9 ± 0.7	8.4 ± 1.7	14.7 ± 1.0	16.5 ± 1.7	14.5	7.6	2.8	8.6	$M1$
636.9 ± 0.5 а)	3.6 ± 0.2	3.6 ± 0.1	7.5 ± 0.5	21.0 ± 2.5	6.5	6.5	2.4	3.4	$M1$

Таблица 1 (продолжение)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	697.7±0.2	0.2±0.05	0.3±0.15						0.19	
	744.6±0.6	5.5±0.6	5.4±1.1	2.2±0.2	4.1±0.7	8.7	4.5	1.8	5.2	E2
	769.8±0.1	3.0±0.2	2.6±0.6	1.9±0.5	6.4±2.1	7.9	4.4	1.7	2.8	M1
	775.2±0.2	5.9±0.4	5.8±1.2	3.4±0.7	5.7±1.7	7.6	4.3	1.65	5.7	M1+E2
	895.1±0.3	0.3±0.1	0.3±0.2	0.2	9.3	5.5	3.0	1.27	0.28	(M1) M1(+E2)
	900.5±0.4	0.15							0.19	
	930.8±0.2	0.8±0.1	1.0±0.3	0.4	5.8	4.9	2.8	1.17	0.76	(M1) E2
	983.2±0.3	0.1	0.1	0.8±0.2	80.0	4.4	2.5	1.06	0.09	M1+E2+EO
	991.7±0.2	0.3	0.3±0.1	2.3±0.7	80±20	4.3	2.45	1.04	0.28	M1+E2+EO
	1041.3±0.3	0.3±0.05	} 0.5±0.2						0.28	
	1044.1±0.2	0.2±0.05							0.19	(M1)
	1102.4±0.4	0.3±0.1	0.2±0.1						0.28	E1
	1214.5±0.5	0.3±0.1	0.2±0.1						0.28	
	1275.5±0.5	0.6±0.1	0.5±0.2						0.57	

а) Сложный переход.

б) Мультипольность перехода определена в работе /3/.

г/ Схема распада ^{157}Dy

Схема распада $^{157}\text{Dy} \rightarrow ^{157}\text{Tb}$, предлагаемая на основе результатов настоящих исследований и исследований, проведенных в работах /3, 5/, изображена на рис. 1. Вероятности заселения уровней рассчитаны из баланса интенсивностей гамма-переходов. На рис. 1 указаны предлагаемые квантовые характеристики энергий и вероятности заселения уровней. Величина $Q_{EC} = /1362 \pm 13/ \text{кэВ}$ принята согласно работе /6/.

2. ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

а/ Основное состояние ^{157}Dy и ^{157}Tb

Ламм /7/, используя метод Беса и Шиманского /8/, провел расчет равновесной деформации для нечетных ядер тербия и диспрозия в зависимости от ϵ и ϵ_4/ϵ и ϵ_4 - значения квадрупольной и гексадекапольной деформации, соответственно/. Результаты этих расчетов даны в табл. 2.

Согласно Ламму, основные состояния ^{157}Dy и ^{157}Tb имеют квантовые характеристики $3/2^- /521/$ и $3/2^+ /411/$, соответственно. Величина спина основных состояний ^{157}Dy и $^{157}\text{Tb} /3/2/$ подтверждена экспериментально А. Розеном и др. /9, 10/.

б/ Ротационная полоса основного состояния $3/2^+ /411/$

В работах /2, 5/ на основе совпадений перехода $60,8 \text{кэВ}$ с $83,0 \text{кэВ}$ введены уровни $60,8$ и $143,8 \text{кэВ}$. Первый возбужденный уровень $60,8 \text{кэВ}$ связывает с основным состоянием переход $60,8 \text{кэВ}$. Мультипольность $M1+E2$ для перехода $60,8 \text{кэВ}$ и вероятность заселения $/I_g(ft) = 7,6/$ позволяют определить спин уровня как $\Gamma^\pi = 5/2^+$.

Таблица 2

Ядро	ϵ	ϵ_4	Квантовые характеристики
^{157}Dy	0,216	-0,022	$3/2^- /521/$
^{157}Tb	0,23	-0,026	$3/2^+ /411/$

Уровень 143,8 кэВ разряжается переходами 83,0 кэВ /M1+ E2/ и 143,8 кэВ/E2/. Определение мультипольности для этих переходов позволяет нам установить спин уровня 143,8 кэВ как $7/2^+$. Не обнаружено в этой полосе состояния $9/2^+$, но для него разница спинов $\Delta I^\pi = 3^-$, и заселение должно быть незначительным.

Винтер и др./11/ в (d, 2n γ) и (p, n γ) реакциях наблюдали ротационную полосу основного состояния $3/2^+ /411/$ до значения спина 19/2. Итак, уровни 60,8 и 143,8 кэВ являются членами этой полосы.

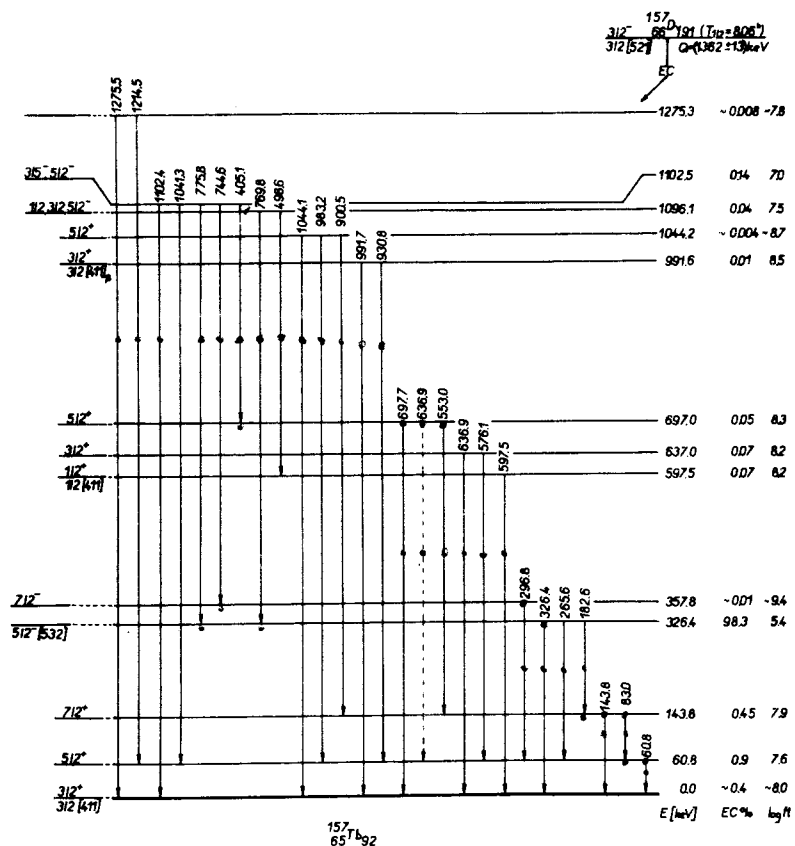


Рис. 1

в/ Возбужденные состояния ротационной полосы $5/2^- /532/$ и $5/2^+ /413/$

Гамма-переход 326,4 кэВ с интенсивностью 96,5 на 100 распадов является самым сильным переходом, наблюдаемым в распаде ^{157}Dy . Исходя из этого, принято, что он определяет уровень с энергией 326,4 кэВ.

Уровень 326,4 кэВ разряжается переходами 182,6/E1/, 265,5/E1/ и 326,4/E1/ кэВ, что позволяет установить его спин как $5/2^-$. Электронный захват на этот уровень является аномально ускоренным /примерно в 6 раз/, что пока трудно объяснить. В схеме Саксона-Вудса состояние со спином $5/2^-$ в этой области обладает квантовыми характеристиками $5/2^- /523/$. Уровень 357,8 кэВ со спином $7/2^-$ - это второй уровень ротационной полосы $5/2^- /532/$.

В работе /11/ уровни ротационной полосы $5/2^- /523/$ возбуждались до спина $19/2^-$. Итак, уровни 326,4 и 357,8 кэВ не являются членами этой полосы.

Исследуя возбужденные состояния ^{157}Tb в (d, 2n γ) и (p, n γ) реакциях, авторы работы /11/ обнаружили ротационную полосу $5/2^+ /413/$, основанную на уровне с энергией 327,6 кэВ. В распаде ^{157}Dy этого уровня не обнаружено.

г/ β - и γ -вибрационные состояния

В наших исследованиях подтверждено существование уровней 597,5 /1/2⁺/, 637,0 /3/2⁺/ и 697,0 /5/2⁺/ кэВ, ранее предложенных в работах /2, 3/.

Эта группа уровней обладает моментом инерций с точностью до $\approx 10\%$ таким же, как и уровни ротационной полосы основного состояния, что свидетельствует о сходстве их структур. Не исключено, что эти уровни принадлежат к ротационной полосе, построенной на вибрационном состоянии /3/2⁺ /411/ - Q₁(22)/. Авторы работы /12/, исследовав возбужденные состояния ¹⁵⁷Tb в реакциях (α, t) и (³He, d), предлагают для уровня 597,5 кэВ квантовые характеристики 1/2⁺ /411/ и считают, что это одночастичный уровень. Предложенных ими уровней 969/1/2⁺/, 1007 /3/2⁺/ и 1083 /5/2⁺/ кэВ γ -вибрационной полосы в распаде мы не наблюдали. Пока однозначно установить структуру уровней 597,5; 637,0; и 697,0 кэВ не удастся.

Уровни 991,7 и 1044,2 кэВ разряжаются переходами 991,7 и 1044,2 кэВ, для которых установлена мультипольность типа M₁+E₂+E₀. Примесь мультипольности типа E₀ свидетельствует о вибрационном характере этих уровней.

Учитывая эти обстоятельства, можно сказать, что уровни 991,7 /3/2⁺/ и 1044,2 /5/2⁺/ кэВ принадлежат к β -вибрационной полосе 3/2⁺ /411/+ Q₁/20//.

д/ Другие уровни

Слабо заселяемые уровни 1096,1 кэВ и 1275,3 кэВ пока трудно интерпретировать. Заселение уровня 1102,5 кэВ электронным захватом /0,14%/ дает lg(ft) равный 7,0, что по правилам Алаги определяет $\Delta n_z = +2$.

Используя соотношение интенсивностей переходов, идущих на ротационные полосы 3/2⁺ /411/ и 5/2⁻ /532/ и $\Delta n_z = +2$ /из lg(ft) /, можно предложить квантовые характеристики для уровня 1102,5 кэВ как 3/2⁻ /541/. Теоретические расчеты /табл. 3/ дают для состояния 3/2⁻ /541/ энергию 1370 кэВ.

Таблица 3

Сопоставление веротационных состояний ¹⁵⁷Tb, наблюдаемых в эксперименте с состояниями, рассчитанными в /13/.

K ^π	E _{ур.} (кэВ)		I ⁵⁷ Tb	
			Структура состояний, %	
	экспер.	теор. /13/		
3/2 ⁺	0	0	4II ⁺ 93%,	4II ⁺ + G ₁ (22) 4%
7/2 ⁻	(572)*	360	523+95%,	4II ⁺ + G ₁ (32) 2%
5/2 ⁺	(327)*	380	4I3+96%,	4II ⁺ + G ₁ (22) 2%
5/2 ⁻	326	530	532+94%,	550 ⁺ + G ₁ (22) 2%
1/2 ⁺	597	640	4II ⁺ 64%,	4II ⁺ + G ₁ (22)26%, 4I3 ⁺ + G ₁ (22) 7%
3/2 ⁺	991	1300		4II ⁺ + G ₁ (20) 100%
3/2 ⁻	1096	1370	54I ⁺ 48%,	4II ⁺ + G ₁ (30) 39%
5/2 ⁺		1390	402+49%,	4I3 ⁺ + G ₁ (20)32%, 523 ⁺ + G ₁ (31) 10%
7/2 ⁺		1400		4II ⁺ + G ₁ (22)97%
1/2 ⁻		1410	550+21%,	532 ⁺ + G ₁ (22)72%, 54I ⁺ + G ₁ (22) 3%
1/2 ⁺		1425	420+14%,	4II ⁺ + G ₁ (22)72%, 532 ⁺ + G ₁ (32) 2%
5/2 ⁺		1450	420+21%,	4I3 ⁺ + G ₁ (20)68%, 523 ⁺ + G ₁ (31) 5%
9/2 ⁺		1460		4I3 ⁺ + G ₁ (22)100%

*) Уровень, предложенный в работе Винтера /11/.

e/ Сравнение с теоретическими расчетами

Авторы работы /13/ провели расчеты энергии и структуры неротационных возбужденных состояний ¹⁵⁷Tb в рамках сверхтекучей модели с учетом взаимодействия квазичастиц с фононами.

В расчетах, проведенных для деформации $\beta_{20} = 0,28$ и $\beta_{40} = 0,06$, использованы волновые функции и одночастичные энергии потенциала Саксона-Вудса.

В табл. 3 приведено сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами /13/.

Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую признательность А.Хрынкевичу и К.Я.Громову за постоянный интерес к работе, И.И.Громовой и Т.Пэтрыне за подготовку источников, а также Ц.Вылову, М.Госиору и А.Потемпе за помощь в проведении измерений.

Литература

1. В.Гнатович, К.Я.Громов, Ф.Н.Мухтасимов. *Препринт ОИЯИ, P-2729, Дубна, 1965.*
2. L.Funke, H.Grabner, K.-H.Kaun, M.Sodan, L.Werner, J.Frana. *Nucl.Phys.*, 84, 449 (1966).
3. P.H.Blichert-Toft, E.C.Funk, J.W.Mihelich. *Nucl.Phys.*, A100, 369 (1967).
4. M.Gasior. *Post. Tech. Jadrowej*, 9-10, 859 (1964).
5. Persson, M.Ryde, K.Oelsner-Ryde. *Ark.Fys.*, 24, 451 (1963).
6. A.H.Wapstra, N.B.Gove. *Nucl.Data Tables*, A9, 276 (1971).
7. Inger-Lena Lamm. *Nucl.Phys.*, A125, 504 (1969).
8. D.Bes, I.Szymański. *Nucl.Phys.*, 28, 42 (1961).
9. A.Rosén, C.Ekström, H.Nygvist, K.E.Ådelroth. *Nucl.Phys.*, A154, 526 (1970).
10. K.E.Ådelroth, H.Nygvist, A.Rosén. *Physica Scripta* V.2, 96 (1970).
11. G.Winter, L.Funke, K.-H.Kaun, P.Kernitz, H.Sodan. *Nucl.Phys.*, A176, 609 (1971).
12. J.C.Tippett, D.G.Burke. *Can.J.Phys.*, 50, 3152 (1972).
13. V.G.Soloviev, S.I.Fedotov. *JINR, E4-6055, Dubna, 1971.*

Рукопись поступила в издательский отдел
9 января 1975 года.