

ЛЯП

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-281

6 - 8658

1889/4-75

И.Адам, Г.Байер, К.Я.Громов, Т.А.Исламов,
Х.-Г.Ортлепп, Х.Тыррофф, Э.Херрманн, Х.Штрусный

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННОГО ЯДРА ^{161}Er
ПРИ РАСПАДЕ ^{161}Tm

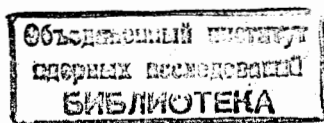
1975

6 - 8658

И.Адам, Г.Байер, К.Я.Громов, Т.А.Исламов,
Х.-Г.Ортлепп, Х.Тыррофф, Э.Херрманн, Х.Штрусный

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННОГО ЯДРА ^{161}Er
ПРИ РАСПАДЕ ^{161}Tm

Направлено в Изв. АН СССР



Адам И., Байер Г., Громов К.Я., Исламов Т.А.,
Ортлепп Х.-Г., Тыррофф Х., Херрманн Э.,
Штрусный Х.

6 - 8658

Возбужденные состояния деформированного ядра ^{161}Er при
распаде ^{161}Tm

Распад ^{161}Tm ($T_{1/2} = 37$ мин) изучен с помощью Ge(Li) - ,
 Si(Li) - и NaJ(Tl) -детекторов и магнитных бета-спектрографов. Изме-
рены спектры гамма-лучей, конверсионных электронов, мгновенных и за-
держанных гамма-гамма совпадений и позитронов. Предлагается схема
распада $^{161}\text{Tm} \rightarrow ^{161}\text{Er}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

1. Введение

Исследованию свойств возбужденных состояний нечетного изотопа ^{161}Er был посвящен в последние годы ряд работ. В работах^{/1,2/} изучались уровни ^{161}Er при бета-распаде ^{161}Tm . Информация об уровнях ^{161}Er , возбуждающихся в реакциях (d, t) , $(^3\text{He}, 3n\gamma)$ и $(\alpha, 3n\gamma)$, содержится в статьях^{/3-6/}. Спины основных состояний ^{161}Er и ^{161}Tm измерены и равны $3/2$ и $7/2$ соответственно^{/2,7/}. Работы^{/1-7/} дают обширную информацию о свойствах основного и возбужденных состояний ядра ^{161}Er . Тем не менее эта информация не может считаться полной; имелась возможность уточнить сведения об энергиях, интенсивностях, мультипольностях и временных корреляциях гамма-переходов и о разности масс ^{161}Tm - ^{161}Er , что важно для определения энергий, квантовых характеристик и свойств возбужденных уровней ^{161}Er . Целью настоящей работы было детальное изучение спектров гамма-лучей, задержанных и незадержанных гамма-гамма-совпадений, позитронов и конверсионных электронов ^{161}Tm и построение схемы распада этого ядра.

Предварительные результаты наших исследований распада ^{161}Tm опубликованы в^{/8/}.

2. Условия экспериментов и их результаты

Изотоп ^{161}Tm мы получали в реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660-680 МэВ на выведенном и внутреннем пучках протонов синхротрона ОИЯИ. Из облученных мишеней тантала вы-

делялись элементы группы редких земель, которые разделялись хроматографическим методом^{9,10}. Активность тулия, полученная при облучении мишени на внутреннем пучке при токе протонов 2,3 мкА, использовалась для измерений конверсионных электронов на бета-спектрографах с постоянным однородным магнитным полем^{11,12}. Разрешающая способность спектрографов равнялась 0,03 - 0,07%.

Для исследований спектров гамма-лучей, задержанных и незадержанных гамма-гамма-совпадений и позитронов активность тулия, полученная при облучении мишени на выведенном пучке при токе протонов 0,1 мкА, была разделена по изотопам на электромагнитном масс-сепараторе¹³ с трубчатым ионным источником с поверхностной ионизацией¹⁴.

Исследования гамма-спектров выполнены с помощью полупроводниковых Ge(Li) - детекторов. Чувствительный объем детекторов 1; 38 и 43 см³, разрешающая способность детекторов 0,6 кэВ для линии 122 кэВ ⁵⁷Co, 3,5 и 2,2 кэВ для линии 1333 кэВ ⁶⁰Co соответственно. Спектры гамма-лучей накапливались в памяти нескольких 4096-канальных амплитудных анализаторов, переписывались на магнитную ленту и анализировались с помощью систем со световым карандашом и электронных вычислительных машин^{15,16}.

Спектры незадержанных гамма-гамма-совпадений изучались с помощью двух Ge(Li) - детекторов с объемом 22 и 25 см³ и разрешением 5 кэВ для линии 1333 кэВ ⁶⁰Co. Использовалась система двухмерных совпадений с цифровыми окнами¹⁶. Разрешающее время составляло около 170 нс.

Измерения задержанных гамма-гамма-совпадений проводились с помощью NaJ(Tl) - детектора / разрешенные 9% для линии 661,62 кэВ ¹³⁷Cs/ и Ge(Li) - детектора / объем 27 см³, разрешение 2,2 кэВ для линии 122 кэВ ⁵⁷Co/. Разрешающее время системы совпадений составляло около 50 нс; время задержки - 300 нс.

Спектр позитронов ¹⁶¹Tm был измерен с помощью Si(Li) - детектора / площадь 80 мм², толщина 2,4 мм, разрешение 2,5 кэВ для K - линии гамма-перехода 121 кэВ

Таблица I
Энергии гамма-переходов, интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов при распаде ¹⁶¹Tm

(E _γ ± E _β) (кэВ)	I _γ	κ	L _I	L _{II}	L _{III}	M _I	M _{II}	M _{III}	Мультипольность
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16,70±0,05						10	5		(E1), E1
23,49±0,02				220	290		50	70	E2
27,92±0,03			560	100	400	170	35	100	M1+(1,0±0,6)% E2
28,18±0,03			40	10	7	10			M1+(0,7±0,4)% E2
29,26±0,02			75	15	7	20			M1+(0,5±0,3)% E2
40,86±0,03			15	9	9				E1
45,54±0,03	2500±250		540	250	335	160	65	100	E1
46,86±0,03			25	9					E1
59,51±0,03	545±45		1180	150	35	300	35	10	M1+(0,4±0,2)% E2
68,10±0,06a)	9±4	35							(E2)
69,00±0,10	55±6		6						E1, E2
73,48±0,03	15±6	10							E1
78,07±0,04	90	155	10	330	320		65	50	E2
79,35±0,04	15±5	35	4	40	40		15	15	E2
84,40±0,03	94±90	4750	455	130	50	120	30	15	M1+(5±3)% E2
87,22±0,06a)	15±8	10							E1
94,38±0,03	124±45	120	10	80	75		20	20	E2
99,76±0,04	237±25	90	20	7		6			E1
105,88±0,02	340±30	740	120	10	4	30	3	15	E1
107,22±0,05	51±7		7	55	50	3	15	16	E2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I12,56±0,03	308±27	690	I10	I0	45	25	3	1,5	MI+(0,5±I,0)% E2
I22,55±0,05	155±12	330	50	6	42	10	2,5		MI+(3±2)% E2
I23,80±0,06	35±10	55	5	2,5	~1	~1,5			MI+(25±10)% E2
I25,60±0,06a)	158±13	~15	~1,5						(EI)
I28,90±0,07	295±25	55	7	~2					EI
I38,68±0,07	60±7	75	9	4,5					MI
I40,40±0,07	42±6	90	10	~3	40,9	~3			MI+(17±10)% E2
I43,92±0,08	375	155	25	75	75	5	25	20	E2
I46,65±0,08	482±35	590	90	9	~1	25	3	<0,6	MI
I53,37±0,08	300±25	35	3						EI
I56,52±0,08	71±7	60	6	42					MI
I57,80±0,08	180±16	10							EI
I72,05±0,06	513±40	455	60	6	1	15	~2,5		MI+(I,5±I,5)% E2
I72,92±0,07	55±15	7	~1,5						(EI)
I82,00±0,09a)	12±3	7							MI
I90,24±0,06	340±30	75	9	~10					E2
I97,38±0,08	12±6	41							(EI)
200,75±0,05	83±18	7							EI
206,95±0,05	60±18	50	~6						MI
207,12±0,06	237±30	9							MI
212,88±0,08	317±27	12							EI
215,70±0,06a)	157±15	50	6						MI
218,10±0,06	105±10	12							E2
220,10±0,10a)	30±4	I,2							EI

E ₁	I ₁	I _к	Мульти- польность	E ₂	I ₂	I _к	Мульти- польность
241,90±0,3 ^a	10±3	0,9	(E2)	476,0±0,5 ^a	8±4	-	-
244,57±0,08	110±11	12	E2	483,3±0,4 ^a	43±5	-	-
246,2±0,3	10	~2	(MI)	489,5±0,5 ^a	61±6	-	-
248,5±0,4 ^a	10±3	-0,6	(E2)	486,3±0,5	10±4	-	-
250,2±0,1	74±8	18	MI	503,8±0,4 ^a	38±6	-	-
252,50±0,10	155±14	15	E2	507,2±0,8 ^a	33±4	-	-
		L ₁ =1,2 L ₂ =1,2 L ₃ =0,8		523,6±0,4 ^a	81±7	-	-
				540,0±0,5 ^a	24±5	-	-
				549,6±0,4 ^a	35±5	-	-
260,9±0,1 ^a	37±4	6	MI	552,9±0,5	21±5	-	-
263,9±0,1 ^a	50±6	~3	(E2)	560,2±0,4 ^a	57±6	-	-
265,46±0,10 ^a	104±11	15	MI	574,6±0,4 ^a	47±5	-	-
266,32±0,10	66±7	~6	E2	577,0±0,5	11±4	-	-
270,2±0,1 ^a	17±4	2,4	MI	581,0±0,5	15±5	-	-
272,07±0,10 ^a	75±10	10	MI	593,7±0,5	28±8	-	-
278,90±0,10	81±10	~10	MI	608,9±0,4 ^a	27±8	-	-
281,0±0,1 ^a	22±5	~3	MI	618,3±0,4 ^a	25±8	-	-
283,4±0,1	83±10	13	MI	622,3±0,4 ^a	43±14	-	-
		L ₁ =1,2 L ₂ =0,3		644,7±0,4 ^a	28±9	-	-
310,0±0,1	30±4	~0,4	EI	654,2±0,4 ^a	38±9	-	-
325,8±0,2 ^a	27±3	~0,6	(EI)	665,2±0,5	18±6	-	-
330,6±0,1 ^a	64±7	~0,9	EI	670,6±0,5	20±7	-	-
344,9±0,1 ^a	63±8	0,9	(EI)	680,3±0,5 ^a	22±7	-	-
349,1±0,1 ^a	50±6	0,5	EI	696,6±0,5 ^a	28±10	-	-
353,8±0,2 ^a	130±12	12	MI	699,0±0,5	25±11	-	-
369,5±0,1	140±12	1,5	EI	702,0±0,6 ^a	15±7	-	-
371,2±0,2 ^a	45±6			712,3±0,4 ^a	18±4	-	-
372,6±0,2	105±11	7	MI	716,8±0,4 ^a	22±4	-	-
377,1±0,2	49±6	2,5	MI	724,8±0,5 ^a	57±7	-	-
400,8±0,2	71±8	4	MI	752,1±0,4 ^a	35±5	-	-
403,5±0,2	17±3			762,4±0,4 ^a	38±5	-	-
407,6±0,4 ^a	21±7			776,0±0,4 ^a	35±5	-	-
419,6±0,5 ^a	26±7			781,2±0,5 ^a	22±5	-	-
425,6±0,5 ^a	23±5			784,1±0,5	42±6	-	-
433,2±0,4 ^a	36±6			799,0±0,5 ^a	≤15	-	-
436,8±0,6	15±5			812,3±0,6 ^a	≤20	-	-
447,1±0,4 ^a	15			840,1±0,5 ^a	45±5	-	-
454,3±0,4 ^a	42±8	0,25	EI	842,9±0,5	20±5	-	-
458,3±0,6	18±7			858,0±0,5 ^a	35±8	-	-
463,6±0,4	41±5	0,20	EI			-	-

E_{γ} (кэВ)	I_{γ}	E_{γ}	I_{γ}	E_{γ}	I_{γ}
889,6±0,5 ^{a)}	33±8	1481,5±0,7	12±6	1850,0±0,3	165±15
891,0±0,5	16±7	1514,6±0,4 ^{a)}	72±7	1854,7±0,4	82±8
901,7±0,5 ^{a)}	≤ 41	1519,1±0,5 ^{a)}	36±7	1861,6±0,4 ^{a)}	28±4
912,2±0,5 ^{a)}	16±4	1537,0±0,8 ^{a)}	15±6	1867,4±0,4 ^{a)}	35±4
916,5±0,5 ^{a)}	18±4	1540,0±0,8 ^{a)}	15±6	1873,4±0,7	10±5
935,8±0,5 ^{a)}	22±5	1552,0±0,8 ^{a)}	15±7	1875,9±0,5	33±4
949,2±0,6 ^{a)}	18±6	1555,3±0,8 ^{a)}	15±7	1887,8±0,5 ^{a)}	≤ 12
964,1±0,4 ^{a)}	28±4	1565,8±0,8 ^{a)}	15±5	1891,9±0,5	40±10
970,4±0,5 ^{a)}	26±4	1569,9±0,9	43±5	1894,1±0,4	71±8
984,5±0,5	29±7	1578,2±0,5 ^{a)}	10±6	1900,7±0,8 ^{a)}	≤ 8
997,5±0,7 ^{a)}	≤ 25	1581,3±0,5 ^{a)}	19±6	1902,7±0,5 ^{a)}	18±6
1003,2±0,4 ^{a)}	69±8	1591,2±0,8 ^{a)}	8±4	1909,6±0,5 ^{a)}	27±8
1057,6±0,5 ^{a)}	20±5	1597,7±0,5 ^{a)}	17±6	1913,0±0,7	≤ 13
1089,1±0,4 ^{a)}	35±4	1600,4±0,5 ^{a)}	12±6	1922,8±0,5 ^{a)}	≤ 10
1098,8±0,4 ^{a)}	27±3	1611,4±0,4 ^{a)}	46±6	1926,5±0,6 ^{a)}	≤ 7
1112,0±0,8 ^{a)}	10±4	1628,5±0,5 ^{a)}	21±6	1934,9±0,7 ^{a)}	8±3
1117,5±0,7 ^{a)}	15±6	1633,1±0,5 ^{a)}	34±6	1941,2±0,5 ^{a)}	15±5
1156,3±0,5 ^{a)}	40±4	1639,5±0,8 ^{a)}	10±4	1952,5±0,6 ^{a)}	9±2
1189,1±0,6 ^{a)}	12±3	1648,1±0,3	1950±180	1958,2±0,5 ^{a)}	11±4
1215,0±0,7	10±6	1663,6±0,5 ^{a)}	56±11	1984,9±0,5 ^{a)}	13±4
1223,0±0,4 ^{a)}	34±4	1693,5±0,4	42±5	2007,1±0,6	11±4
1235,7±0,4	40±4	1706,1±0,4 ^{a)}	35±4	2010,7±0,5 ^{a)}	19±5
1250,1±0,5 ^{a)}	≤ 17	1718,0±0,8 ^{a)}	12	2043,9±0,6 ^{a)}	≤ 8
1268,3±0,5	15±7	1721,6±0,5 ^{a)}	15±4	2062,2±0,5 ^{a)}	15±4
1271,5±0,5 ^{a)}	43±8	1735,3±0,6 ^{a)}	18±4	2067,1±0,9	≤ 6
1276,2±0,6 ^{a)}	25±8	1743,8±0,5	17±5	2095,2±0,4 ^{a)}	20±6
1305,3±0,6 ^{a)}	≤ 41	1748,0±0,5	21±6	2115,0±0,7 ^{a)}	9±4
1308,5±0,5	42±6	1753,0±0,8 ^{a)}	≤ 8	2129,5±0,7 ^{a)}	9±4
1317,0±0,8 ^{a)}	12±6	1757,9±0,5 ^{a)}	24±5	2139,0±0,9 ^{a)}	≤ 6
1322,1±0,5 ^{a)}	25±6	1766,1±0,5 ^{a)}	21±6	2154,4±0,4 ^{a)}	23±5
1337,8±0,5	18±9	1769,5±0,6	18±6	2174,4±0,8 ^{a)}	≤ 7
1341,5±0,5	24±7	1788,0±0,3	172±15	2190,0±0,7 ^{a)}	≤ 7
1351,5±0,6 ^{a)}	≤ 21	1796,0±0,8	≤ 5	2223,5±0,8 ^{a)}	≤ 7
1355,1±0,5 ^{a)}	27±6	1800,0±0,5	15±3	2374,0±1,0 ^{a)}	≤ 8
1384,2±0,6 ^{a)}	20±4	1816,3±0,4 ^{a)}	20±4		
1422,1±0,5	18	1827,2±0,4 ^{a)}	77±8		
1429,1±0,5 ^{a)}	≤ 8	1830,7±0,5 ^{a)}	18±9		
1437,3±0,6 ^{a)}	18±5	1834,0±0,4 ^{a)}	47±6		
1461,1±0,5 ^{a)}	55±6	1845,7±0,4	64±7		

a) Не размещены в схеме распада.

^{152}Eu / при температуре 110 К. Детектор был помещен в однородное магнитное поле для исключения фона от гамма-лучей и конверсионных электронов^{/17/}. Граничная энергия позитронов оказалась равной $/1800 \pm 100/$ кэВ.

Результаты измерений спектров гамма-лучей и конверсионных электронов представлены в табл. 1. Обнаружено 147 гамма-переходов. Интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов мы привели к одним единицам, используя теоретический коэффициент конверсии $a_K(E2) = 0,41$ для гамма-перехода 143,92 кэВ. Мультипольность этого перехода уверенно определяется из отношений K/L_I , L_I/L_{II} , L_{II}/L_{III} , M_I/M_{II} и M_{II}/M_{III} . Интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов даны на 10000 распадов. Погрешности в определении интенсивностей линий конверсионных электронов не превышают 30%. Для сильных и близких по энергии линий погрешность меньше. Для линии конверсионных электронов с энергией менее 30 кэВ ошибки в определении интенсивности могут превышать 50%. Предлагаемые в табл. 1 мультипольности гамма-лучей получены при сравнении экспериментальных значений K -коэффициентов внутренней конверсии, K/L_I , L_I/L_{II} , L_{II}/L_{III} и M_I/M_{II} , M_{II}/M_{III} - отношений интенсивностей линий внутренней конверсии с расчетными значениями этих величин из таблиц^{/18/}. Результаты изучения задержанных и незадержанных гамма-гамма-совпадений даны в табл. 2.

Изомерное состояние в ^{161}Tm с периодом полураспада $T_{1/2} = 7$ мин, найденное в работе^{/19/}, не наблюдалось.

3. Схема распада ^{161}Tm

При построении схемы распада ^{161}Tm /рис. 1 и 2/ мы использовали наряду с результатами настоящей работы сведения о возбужденных состояниях ^{161}Er , полученные в работах^{/1-7/}. Основные состояния ^{161}Tm и ^{161}Er имеют нильссоновские квантовые характеристики $7/2^+$ [404] и $3/2^-$ [521]^{/1,2,7/}. Гамма-переходы, для которых однозначно /предположительно/ установлены совпадения с другими гамма-переходами, помечены черными /светлыми/ кружками. В скобках в схеме распада ^{161}Tm даны полные

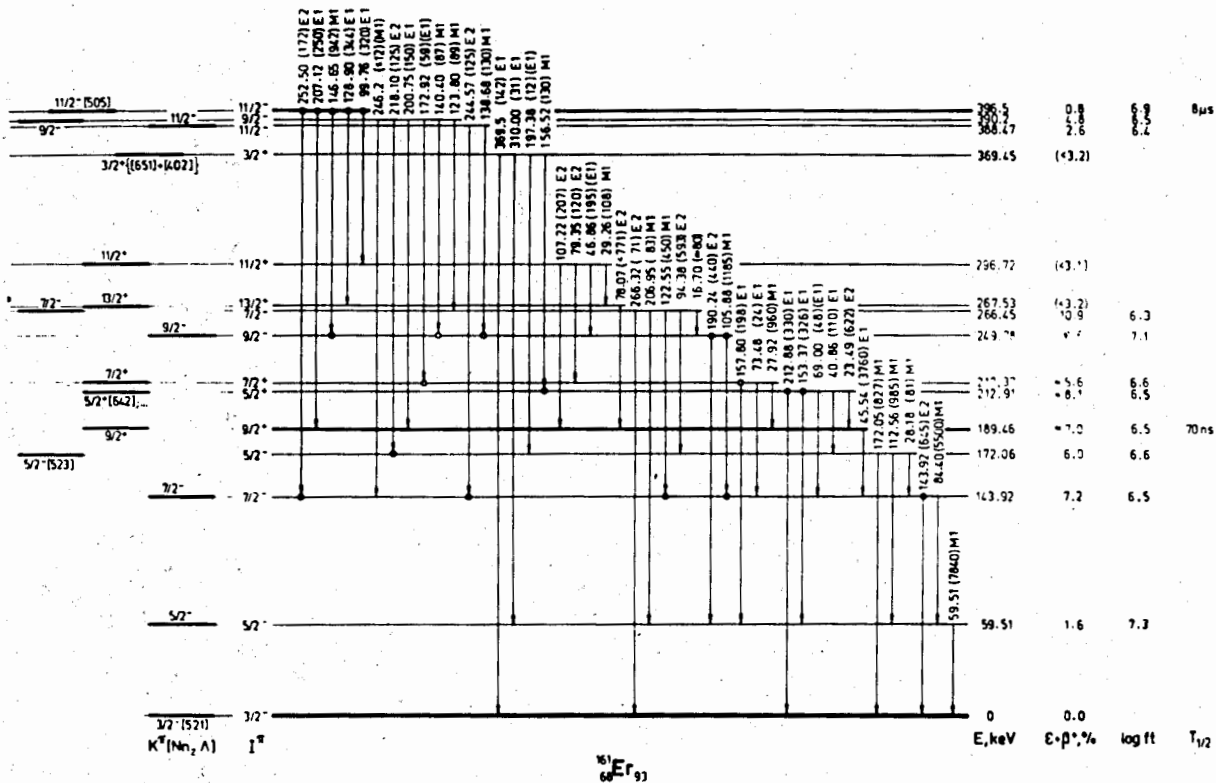
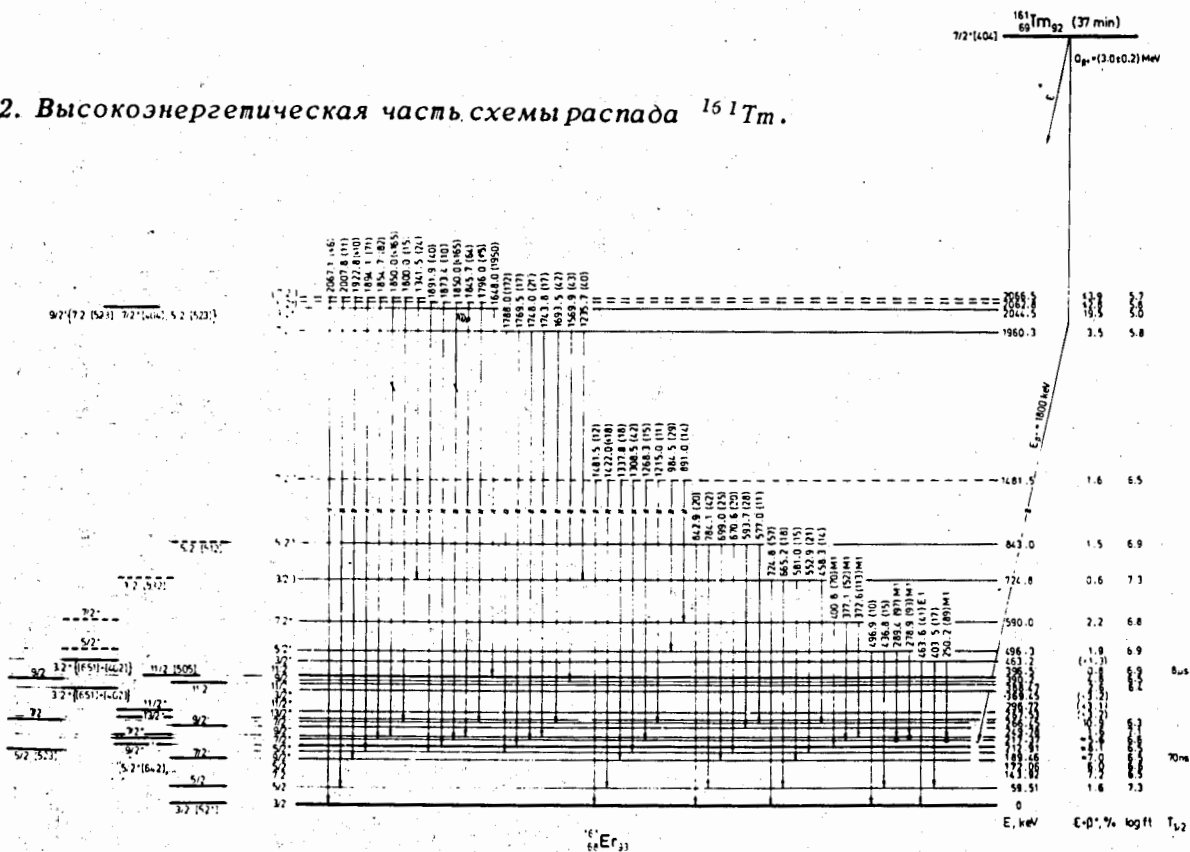


Рис. 1. Низкоэнергетическая часть схемы распада ^{161}Tm .

Рис. 2. Высокоэнергетическая часть схемы распада ^{161}Tm .



интенсивности гамма-переходов на 10 000 распадов. При этом за 10 000 распадов принята суммарная интенсивность гамма-переходов в основное состояние ^{161}Er . Считалось, что интенсивностью уникального бета-перехода первого запрещения $7/2^+ [404] \rightarrow 3/2^- [521]$ из основного состояния ^{161}Tm в основное состояние ^{161}Er можно пренебречь.

Оценка интенсивностей заселения уровней ^{161}Er при электронном захвате и позитронном распаде ^{161}Tm /см. рис. 1 и 2/ показывает, что бета-распад идет главным образом на уровни с энергией около 200 кэВ. Поэтому можно считать, что позитронная компонента с граничной энергией $/1800 \pm 100/$ кэВ связана с распадом на эти уровни. Энергия распада $^{161}\text{Tm} - ^{161}\text{Er}$ тогда равна $/3,0 \pm 0,2/$ МэВ. Это значение согласуется с рассчитанным значением $Q_{\beta^+} = 3,5 \text{ МэВ} /^{20}/$. Используя величину энергии распада $^{161}\text{Tm} - ^{161}\text{Er}$ и оценки интенсивности заселения уровней ^{161}Er , мы вычислили значения $\log ft$ для бета-распада на уровни ^{161}Er /см. рис. 1 и 2/. Полученные нами значения $\log ft$ согласуются со сделанным в работах $/2,7/$ предположением о квантовых характеристиках основного состояния $^{161}\text{Tm} /7/2^+ [404] /$. Для значений величин $\log ft$ на рис. 1 даются только нижние пределы; главная причина этого - большое количество гамма-переходов, не размещенных в схеме распада ^{161}Tm . Их полная интенсивность - около 50%.

Энергии уровней, полученные в настоящей работе, определены более точно, чем в работах $/1-6/$. Уровни 1060 и 1038 кэВ, введенные в схему распада ^{161}Tm в работе $/2/$, данными настоящей работы не подтверждаются. Мы вводим в схему распада ^{161}Tm шесть новых уровней ^{161}Er .

Состояния $3/2^- [521]$, $5/2^- [523]$ и $11/2^- [505]$ в ядре ^{161}Er и члены их ротационных полос были надежно $/21/$ установлены ранее при бета-распаде $/1,2/$ и в реакциях $(d, t)^{3/}$, $(^3\text{He}, \beta n \gamma)^{4/}$ и $(\alpha, \beta n \gamma)^{5,6/}$. Наши данные /см. рис. 1/ полностью подтверждают прежние сведения. Обнаружен ряд новых переходов между этими уровнями: 28,18 кэВ /M1/, 16,70 кэВ; 206,95 кэВ /M1/; 246,2 кэВ /M1/ и 266,32 кэВ /E2/. Впервые определены мультипольности следующих переходов между этими уров-

Таблица 2

Задержанные и нездержанные гамма-гамма-совпадения, наблюдаемые при распаде ^{161}Tm

I. Незадержанные совпадения		
E_{I} (кэВ)	E_{II} (кэВ)	
84,40	105,88; 122,55; 128,90; 146,65; (244,57); 252,50 (511,0)	
105,88	143,92; 146,65	
112,56	218,10	
146,65	105,88; 190,24	
153,37	(156,52); 250,10; (283,40)	
156,52+157,80	(153,37); (172,42); (212,88); (278,90)	
172,05+172,92	(157,80); 218,10	
190,24	(138,68); (140,40); 146,65	
212,88	156,52; 250,10; 283,40	
II. Задержанные совпадения		
E_{I} (кэВ)	E_{II} (кэВ)	
1648,0	99,76; 128,90; 146,65; 207,12; 252,50	

E_{II} : энергия гамма-лучей, наблюдаемых в спектрах совпадений с гамма-лучами E_{I}

нями: 123,80 кэВ - M1; 138,68 кэВ - M1; 140,40 кэВ - M1 и 218,10 кэВ - E2.

Некоторые разногласия имелись при интерпретации изомерного уровня 189,46 кэВ в ^{161}Er . Этот уровень проявляется в реакциях $(d, t)^{3/}$ и $(\alpha, \beta n \gamma)^{5,6/}$ и при бета-распаде. Гьом и Элбек $/3/$ предполагают, что этот уровень типа $9/2 \ 5/2^+ [642]$. Предположительно вводился также уровень со спином $1/2$ полосы $5/2 [642]$ при энергии 268 кэВ. Однако другие состояния этой полосы они не наблюдали. В реакции $(\alpha, \beta n \gamma)$ Хагеманн и др. $/5/$ наблюдали последовательность уровней с четными значениями величины $I+1/2$: $9/2 - 189,4 \text{ кэВ}$; $13/2 - 267,5 \text{ кэВ}$; $17/2 - 466,1 \text{ кэВ}$; $21/2 - 784,6 \text{ кэВ}$; $25/2 - 1209,7 \text{ кэВ}$ и $29/2 - 1728,2 \text{ кэВ}$. Они считают их уровнями сильновозмущенной вращательной полосы $1/2^+ [660]$. Абдумаликов и др. $/2/$ однозначно установили спин и четность уровня 189,45 кэВ как $9/2^+$ и ин-

терпретировали его также как состояние $9/2\ 1/2^+[660]$. Уровень со спином $13/2$ полосы над изомерным состоянием $189,45\ \text{кэВ}$, проявившийся в реакциях $(d, t)^{3/}$ и $(\alpha, 3n\gamma)^{5,6/}$, возможно, заселяется и в бета-распаде $^{161}\text{Tm}^{2/}$. Хьорт и др.^{6/}, изучая также реакцию $(\alpha, 3n\gamma)$, видели в этой полосе над изомерным состоянием $189,45\ \text{кэВ}$ еще последовательность уровней с нечетными значениями величины $1+1/2; 11/2 - 296,7\ \text{кэВ}; 15/2 - 508,7\ \text{кэВ}; 19/2 - 848,7\ \text{кэВ}$ и $23/2 - 1308,1\ \text{кэВ}$. Этот результат показывает, что полоса положительной четности над состоянием $189,45\ \text{кэВ}$ образует практически две последовательности уровней с четными и нечетными значениями $1+1/2$. Точный анализ вращательной полосы над состоянием $189,45\ \text{кэВ}$ с положительной четностью с учетом взаимодействия Кориолиса, проведенный Хьортом и др.^{6/}, показывает, что это явление вызвано сильным смешиванием конфигураций из сферической подболочки $i\ 13/2$ в состояниях этой полосы.

Результаты наших исследований распада ^{161}Tm позволяют утверждать, что в этом распаде возбуждаются не только уровни со спином $9/2, 11/2$ и $13/2$ ротационной полосы над изомерным состоянием $189,45\ \text{кэВ}$, но даже до сих пор неизвестные уровни со спинами $5/2$ и $7/2$. Размещая в схеме уровней ^{161}Tm гамма-переходы с энергиями $23,49\ \text{кэВ}/E2/; 27,92\ \text{кэВ}/M1/; 29,26\ \text{кэВ}/M1/; 40,86\ \text{кэВ}/E1/; 45,54\ \text{кэВ}/E1/; 46,86\ \text{кэВ}/E1//; 69,00\ \text{кэВ}/E1/; 73,48\ \text{кэВ}/E1/; 78,07\ \text{кэВ}/E2/; 79,35\ \text{кэВ}/E2/; 99,76\ \text{кэВ}/E1/; 107,22\ \text{кэВ}/E2/; 128,90\ \text{кэВ}/E1/; 153,37\ \text{кэВ}/E1/; 157,80\ \text{кэВ}/E1/$ и $212,88\ \text{кэВ}/E1/$ мы получаем следующие энергии уровней этой полосы: $189,46\ \text{кэВ}/9/2^+; 212,91\ \text{кэВ}/5/2^+; 217,37\ \text{кэВ}/7/2^+; 267,53\ \text{кэВ}/13/2^+$ и $296,72\ \text{кэВ}/11/2^+$. В полном согласии с такой интерпретацией находятся и экспериментально определенные мультипольности и временные корреляции гамма-переходов. Борггрин и Слеттен^{4/}, изучая реакцию $(^3\text{He}, 3n\gamma)$, предполагали разрядку изомера $11/2 - [505]$ через уровни $296,72\ \text{кэВ}/11/2^+; 267,53\ \text{кэВ}/13/2^+$ и $189,46\ \text{кэВ}/9/2^+$ на полосу основного состояния. Наши данные полностью подтверждают этот результат /см. рис. 1/. По результатам настоящей работы и работ^{5,6/} в рамках неадиабатической модели Пятова^{22-25/} в^{25/} проведен расчет вращатель-

ного спектра полосы над изомерным состоянием $189,46\ \text{кэВ}$. Получено довольно хорошее согласие с экспериментальными данными /табл. 3/. Расчет показывает, что главной компонентой в низколежащих состояниях является конфигурация $5/2^+[642]$.

Тьом и Элбек вводят в схему уровней ^{161}Tm состояние $3/2^+|[402] + [651]|$ с энергией $369\ \text{кэВ}$. Наблюдающиеся при распаде ^{161}Tm гамма-переходы $156,52\ \text{кэВ}/M1/; 197,38\ \text{кэВ}/E1//; 310,00\ \text{кэВ}/E1/$ и $369,5\ \text{кэВ}/E1/$ и совпадение $156,52\ \text{кэВ} - 153,37$ и $212,88\ \text{кэВ}$ позволяют ввести этот уровень при энергии $369,45\ \text{кэВ}$. Мультипольности перехода с этого уровня и характер его разрядки согласуются с предположением, что его спин и четность $3/2^+$.

Второе состояние $3/2^+|[402] + [651]|$ в ^{161}Tm наблюдают Тьом и Элбек^{3/}, а затем Хьорт и др.^{6/} при энергии $463\ \text{кэВ}$. При распаде ^{161}Tm этот уровень устанавливается совпадениями $212,88\ \text{кэВ} - 250,2\ \text{кэВ}$ и $153,37\ \text{кэВ} - 250,2\ \text{кэВ}$. Его энергия $463,2\ \text{кэВ}$. Разрядка уровня $463,2\ \text{кэВ}$ осуществляется гамма-переходами $250,2\ \text{кэВ}/M1/; 403,5\ \text{кэВ}$ и $463,6\ \text{кэВ}/E1/$. Противоречий в оценках мультипольностей нет. Уровни $496,3$ и $590,0\ \text{кэВ}$ в ^{161}Tm , проявляющиеся в реакции $(d, t)^{3/}$, заселяются и при бета-распаде ^{161}Tm . Наши данные уточняют энергии этих уровней и позволяют установить их квантовые характеристики. Характер разрядки и значения спина и четности этих уровней позволяют считать, что это уровни вращательной полосы состояния $3/2^+|[402] + [651]|$ со спинами $5/2\ /496,3\ \text{кэВ}/$ и $7/2\ /590,0\ \text{кэВ}/$.

В схему распада ^{161}Tm мы вводим уровни с энергиями $724,8$ и $843,0\ \text{кэВ}$, идентичные с предложенными в работе Тьома и Элбека^{3/}. На основе значений спина и четности, вытекающих из характера разрядки этих уровней, можно предположительно интерпретировать уровни при $724,8$ и $843,0\ \text{кэВ}$ как состояния $3/2^- [532]$ и $5/2^- [512]$ соответственно.

Совпадения сумм энергий гамма-переходов с точностью лучше $0,05\%$ позволяют ввести новые уровни ^{161}Tm с энергиями $1481,5\ \text{кэВ}/7/2^-; 1960,3\ \text{кэВ}/7/2^-; 2062,8\ \text{кэВ}/5/2^+; 2066,5\ \text{кэВ}/7/2^-/$ в скоб-

Таблица 3

Характеристика вращательной полосы над состоянием $199,46$ кэВ в ядре ^{161}Er . Расчеты проведены в работе /25/ с параметрами $\beta_{20}=0,324$; $\beta_{40}=0,04$; $\Delta=1,1$ МэВ и $I/2J=15$ кэВ (β_{20} и β_{40} -параметры деформации, Δ -энергетическая щель, $I/2J$ -вращательный параметр)

I	Амплитуды смешивания				E теор. (кэВ)	E эксп. (кэВ)	
	$I/2^+$ /660/	$I/2^+$ /400/	$3/2^+$ /402/	$3/2^+$ /651/			
$5/2^+$	0,212	0,093	0,251	-0,453	0,824	213	212,91
$7/2^+$	0,131	0,057	0,271	-0,470	0,815	219	217,37
$9/2^+$	0,361	0,155	0,312	-0,519	0,674	189	189,46
$11/2^+$	0,162	0,070	0,300	-0,497	0,761	298	296,72
$13/2^+$	0,440	0,185	0,326	-0,527	0,597	273	267,53
$15/2^+$	0,178	0,076	0,311	-0,501	0,734	484	508,7
$17/2^+$	0,487	0,202	0,329	-0,520	0,551	469	466,1
$19/2^+$	0,186	0,079	0,315	-0,500	0,716	807	848,7
$21/2^+$	0,517	0,213	0,330	-0,515	0,520	781	784,6
$23/2^+$	0,191	0,080	0,317	-0,497	0,704	1238	1308,1
$25/2^+$	0,537	0,220	0,329	-0,510	0,499	1211	1209,7

ках, на основе характера разрядки этих уровней, указаны возможные значения их спина и четности/.

Результаты изучения задержанных гамма-гамма-совпадений /см. табл. 2/ позволяют ввести уровень при энергии $2044,5$ кэВ. Низкое значение $\log ft = 5,0$ на этот уровень можно объяснить только разрешенным незадержанным бета-переходом. Переход такого типа в районе $\Lambda=161$ происходит между состояниями $n5/2^- [523]$ - $p7/2 [523]$. Это обстоятельство и характер разрядки уровня позволяют сделать вывод, что уровень $2044,5$ кэВ содержит значительную примесь трехквантового состояния $9/2^+ \{p_1 7/2^- [523], p_2 7/2^+ [404], n 5/2^- [523]\}$.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессорам В.П.Джелепову и Г.Музиолу за поддержку настоящей работы, докторам Н.И.Пятову и М.И.Базнату за полезные дискуссии и персоналу синхротрона ОИЯИ и измерительного центра Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ за помощь в работе.

Литература

1. А.А.Абдумаликов, А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, 257/1964/.
2. А.А.Абдумаликов, А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Т.А.Исламов, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ, 6-4393, Дубна, 1969.
3. P.O.Tjom and B.Elbek. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 37, N7 (1969).
4. J.Borggraan and G.Sletten. Nucl.Phys., A143, 255 (1970).
5. K.A.Hagemann, S.A.Hjorth, H.Ryde and H.Ohlsson. Phys.Lett., 288, 661 (1969).
6. S.A.Hjorth, H.Ryde, K.A.Hagemann, G.Løvholden and I.S.Waddington. Nucl.Phys., A144, 513 (1970).
7. C.Ekstron and I.-L.Lamm. Phys. Scripta, 7, 1 (1973).
8. И.Адам, Г.Байер, Ц.Вылов, К.Я.Громов, Т.А.Исламов, М.Ен, Ф.Молнар, Х.-Г.Ортлепп, Х.Тыррофф, З.А.Усманова, Э.Херрманн, Х.Штрусный. М.Яхим. Программа и тезисы докладов XXIII Совещания по ядерной спектроскопии и структ. атомного ядра. Тбилиси, 1973, стр. 89; Программа и тезисы докладов XXIV Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков /1974/, стр. 120.

9. A.A.Abdurazakov, G.Bayer, K.Ya.Gromov, E.Herrmann, T.A.Islamov, M.Jachim, F.Molnar, G.Musiol, H.-U.Sibert, H.Strucny, H.Tyrroff and S.A.Usmanova. JINR, E6-8008, Dubna, 1974.
10. Б.К.Преображенский, О.М.Лилова, А.Н.Добронравова, Е.Д.Тетерин. Журнал неорг. химии, 1, 2295 /1956/.
11. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов, К.Я.Громов, Т.А.Исламов, Ш.М.Камалходжаев, М.К.Прокофьев. Препринт ОИЯИ, Р6-4363, Дубна, 1969.
12. В.Л.Кочетков, Н.А.Лебедев, А.Ф.Новгородов, В.А.Халкин. Радиохимия, 6, 73 /1964/.
13. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. Препринт ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
14. G.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.I.Raiko, H.Tyrroff. Nucl. Instr. and Methods, 96, 437 (1971).
15. Р.Арлт, Г.Винтер, С.В.Медведь, Г.Музиоль, А.Н.Синаев, З.А.Усманова, Д.Фромм, Н.А.Чистов, Х.Штрусный. ПТЭ, 6, 71 /1972/.
16. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, З.Зайдлер, Е.Т.Кондрат, З.В.Лысенко, В.И.Фоминых, В.Г.Тишин, М.И.Фоминых, В.И.Цупко-Ситников. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 69/1970/.
17. Е.Береги, Ц.Вылов, И.Крацикова, Ли Чен Сон, Б.П.Осипенко, Л.А.Пермякова, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, Р13-6830, Дубна, 1972.
18. R.S.Hager and E.C.Seltzer. Nucl.Data, A4, 1 (1968).
19. К.Я.Громов, В.Г.Калинников, З.Малек, Н.Ненов, Г.Пфреппер, Х.Штрусный, Ж.Желев. Препринт ОИЯИ, Р6-3945, Дубна, 1968.
20. A.H.Wapstra and N.V.Gowe. Nucl.Data Tables, 9, 267 (1971).
21. M.E.Bunker and C.W.Reish. Rev.Mod.Phys., 43, 348 (1971).
22. M.I.Basnat, M.I.Chernej and N.I.Pyatov. Phys.Lett., 318, 172 (1970).
23. N.I.Pyatov, M.I.Chernej and M.I.Basnat. JINR, E4-5468 (1970), E4-5550 (1970), E4-6265 (1972), Dubna.
24. M.I.Basnat, N.I.Pyatov, M.I.Chernej. Physica Scripta, 6, 227 (1972).
25. М.И.Базнат, Н.И.Пятов, М.И.Черней. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 4, 941 /1973/.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1975 года.