

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Р6-86-743

И.Адам\*, З.Гонс, К.Я.Громов, Я.Добеш\*, И.Фер\*

БЕТА-РАСПАД ИЗОМЕРА  
 $^{164m}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 5,1 \text{ м}$ ) И СТРУКТУРА  
ВОЗБУЖДЕННЫХ УРОВНЕЙ  $^{164}\text{Er}$

Направлено в журнал "Известия АН СССР",  
серия Физическая

---

\* Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж

1986

Изомерное состояние  $^{164m}\text{Tm}$  было обнаружено Дебуром и др. <sup>/1/</sup>, которые измерили спектры гамма-лучей, конверсионных электронов и спектры задержанных и незадержанных  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений. Шарвет и др. <sup>/2/</sup> подтвердили время жизни уровня с энергией 1985,19 кэВ в  $^{164}\text{Er}$ , измеренное в <sup>/1/</sup>, и установили время жизни еще двух уровней.

Возбужденные уровни  $^{164}\text{Er}$ , кроме  $\beta$ -распада  $^{164}\text{Tm}$ , изучались также в реакциях  $(p, t)$ ,  $(d, d')$ ,  $(p', 2n \gamma)$ ,  $(\alpha, 2n \gamma)$  и кулоновского возбуждения тяжелыми ионами. Результаты этих исследований, опубликованные до середины 1977 года, представлены в таблицах Ледерера и др. <sup>/3/</sup>. Позднее Кearnс и др. <sup>/4/</sup> измерили времена жизни уровней ротационной полосы ( $I^\pi = 8^+, 10^+, 12^+$ ) основного состояния  $^{164}\text{Er}$  методом доплеровского уширения  $\gamma$ -линий. Угловое распределение и линейная поляризация  $\gamma$ -лучей и  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений изучались Кистнер и др. <sup>/5/</sup> в реакции  $^{160}\text{Gd} (^3\text{He}, 5n \gamma) ^{164}\text{Er}$ . Обширные исследования высокоспиновых состояний  $^{164}\text{Er}$  были проведены в работе <sup>/6/</sup> с помощью реакций  $^{150}\text{Nd} (^{18}\text{O}, 4n \gamma)$ ,  $^{164}\text{Dy} (\alpha, 4n \gamma)$  и  $^{164}\text{Er} (^{136}\text{Xe}, ^{136}\text{Xe}' \gamma)$ . Филдс и др. <sup>/7/</sup> исследовали боковые ротационные полосы, возбуждаемые в реакциях  $(\alpha, 2n \gamma)$  и  $(p, 2n \gamma)$ . Гуманик и др. <sup>/8/</sup> использовали кулоновское возбуждение основной и  $\gamma$ -ротационной полосы  $d$ -частицами и ионами  $^{160}$  для определения электрических квадрупольных моментов и формы ядра  $^{164}\text{Er}$ . Возбужденные уровни  $^{164}\text{Er}$  исследовались и при неупругом рассеянии нейтронов Бондаренко и др. <sup>/9,10/</sup>. Настоящая работа является продолжением наших исследований возбужденных состояний  $^{164}\text{Er}$  при бета-распаде  $^{164}\text{Tm}$  <sup>/11,12/</sup>.

Радиоактивные ядра  $^{164m}\text{Tm}$  мы получали в реакции глубокого расщепления при бомбардировке танталовой мишени протонами с энергией 660 МэВ на синхротронном ускорителе ОИЯИ. Танталовые металлические фольги толщиной 50 мкм и весом 0,5 г облучались в течение 10 минут на выведенном пучке протонов ( $I_p \cong 0,1 \text{ мкА}$ ). После облучения мишень транспортировалась пневмопочтой к масс-сепаратору <sup>/13/</sup>, где производилось разделение продуктов ядерной реакции по изобарам. Спектры  $\gamma$ -лучей и  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений начинали измерять через 5 - 7 минут после конца облучения мишени. В специальном эксперименте измерялись спектры  $\gamma$ -излучения, которые сопровождают распад изобарных ядер с  $A = 164$ , разделенных на масс-сепараторе с "горячим коллектором" <sup>/14/</sup>. В этом эксперименте происходило обогащение изобарного источника изотопом  $^{164}\text{Lu}$

( $T_{I/2} = 3,2$  мин). Спектры  $\gamma$ -лучей измерялись Ge(Li)-детектором с  $V = 23$  см<sup>3</sup> ( $\Delta E_{\gamma} = 2,4$  кэВ при  $E_{\gamma} = 1332$  кэВ). Обработка выполнялась на ЭВМ "НР-2116С". Энергии гамма-лучей распада  $^{164m}\text{Tm}$  измерялись с использованием калибровочных источников  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  и  $^{182}\text{Tl}$ . Кривая эффективности регистрации гамма-излучения Ge(Li)-детектором получена с точностью примерно 6% при применении стандартных источников  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{110m}\text{Ag}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{160}\text{Tb}$  и  $^{182}\text{Tl}$ . Зависимость эффективности детектора от энергии выбиралась в виде, предложенном в работе /15/.

В  $\gamma$ -спектрах изобары  $A = 164$  (рис. 1) вместе с  $\gamma$ -лучами  $^{164m}\text{Tm}$  ( $T_{I/2} = 5,1$  м) наблюдались  $\gamma$ -лучи примесных изотопов  $^{164}\text{Lu}$  (3,12 м) /16/,  $^{164}\text{Yb}$  (75,8 м) /17/,  $^{164}\text{Tm}$  (2,0 м) /11/,  $^{165}\text{Lu}$  (11,8 м) /18/. Приписание линий  $\gamma$ -спектра распада  $^{164m}\text{Tm}$  проводилось по убыванию их интенсивности, на основе  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений, а также при сравнении относительных интенсивностей  $\gamma$ -линий в экспериментах с "горячим коллатором" и без него - с обогащением источника изотопом  $^{164}\text{Lu}$  и без обогащения. В этих экспериментах для изучения распада  $^{164m}\text{Tm}$  впервые применялись источники, приготовленные с использованием масс-сепаратора.

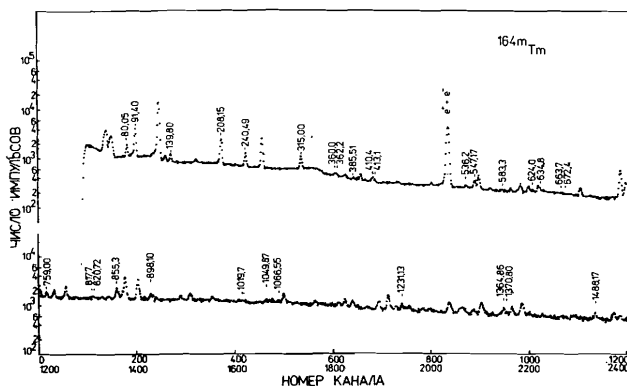


Рис. 1. Один из спектров  $\gamma$ -лучей изобарного источника  $A = 164$ .

Полученные результаты (табл. 1) можно сравнить лишь с работой Дебура и др. /1/, в которой был открыт  $^{164m}\text{Tm}$ . Значения энергии и интенсивности для 18  $\gamma$ -переходов совпадают. Интенсивность  $\gamma$ -лучей 855,3 кэВ, по нашим данным, в три раза больше, чем в /1/. Двенадцать малоинтенсивных  $\gamma$ -переходов, обнаруженных в /1/, мы не наблюдали: верхний предел интенсивности  $\gamma$ -лучей 101,24 кэВ в четыре раза и  $\gamma$ -лу-

чей 199,20 кэВ в два раза ниже значений их интенсивности в /1/. Верхний предел интенсивности десяти  $\gamma$ -переходов по нашим данным примерно равен значениям их интенсивностей, указанным в /1/. Мы наблюдали одиннадцать новых  $\gamma$ -переходов, интенсивность которых убывает с  $T_{I/2} = 5$  мин. Мы полагаем, что эти переходы возникают при распаде  $^{164m}\text{Tm}$ .

Таблица 1. Значения энергии и относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей при распаде  $^{164m}\text{Tm}$

$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$ , [кэВ]	$I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ , [отн. ед.]	$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$ , [кэВ]	$I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ , [отн. ед.]
80,05(8)	7,0(8)	634,8(4) <sup>a)</sup>	12,8(20)
91,40(4)	43(7)	663,7(4) <sup>a)</sup>	6,5(17)
139,80(6)	21,2(16)	672,4(7) <sup>a)</sup>	4,2(18)
208,15(3)	152(9)	759,00(13)	5,6(12)
240,49(3)	77(4)	817,7(8) <sup>a)</sup>	5,1(24)
315,00(4)	100	820,72(28)	14(3)
360,0(5) <sup>a)</sup>	8,3(29)	855,3(6)	26(4)
362,2(3) <sup>a)</sup>	7(3)	898,10(12)	42(4)
385,51(25)	7,2(15)	1019,7(7) <sup>a)</sup>	5,8(22)
410,4(4)	15(3)	1049,87(22)	21(5)
413,1(4) <sup>a)</sup>	6,5(26)	1066,55(27) <sup>a)</sup>	15(3)
536,2(3) <sup>a)</sup>	5(3)	1231,13(14)	36,5(29)
547,17(7)	56(4)	1364,86(29)	39(4)
583,3(5)	8,3(17)	1370,80(29)	11,2(29)
624,0(3)	8,6(19)	1488,17(29) <sup>a)</sup>	7(3)

a)  $\gamma$ -переход, вероятно, принадлежит распаду  $^{164m}\text{Tm}$ .

Спектры  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений измерялись нами в режиме трехмерного анализа на установке /19/ с двумя Ge(Li)-детекторами с объемом  $V_1 = 41$  см<sup>3</sup> и  $V_2 = 43$  см<sup>3</sup>. Энергетическое разрешение обоих детекторов было примерно 2,5 кэВ при  $E_{\gamma} = 1332$  кэВ. Разрешающее время схемы совпадений равно 30 нс. Трехмерная матрица совпадений записывалась на магнитную ленту, которая обрабатывалась после окончания эксперимента на ЭВМ "НР-2116С". На рис. 2 показан спектр совпадений с гамма-переходом 91,40 кэВ.

Результаты количественной обработки спектров  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений приведены в таблице 2. Интенсивности совпадений даны в относительных единицах. Поправки на угловую корреляцию  $\gamma$ -лучей могут изменять интенсивность совпадений не больше, чем на  $\pm 20\%$ , и они не учтены в указанных погрешностях экспериментальных интенсивностей совпадений.

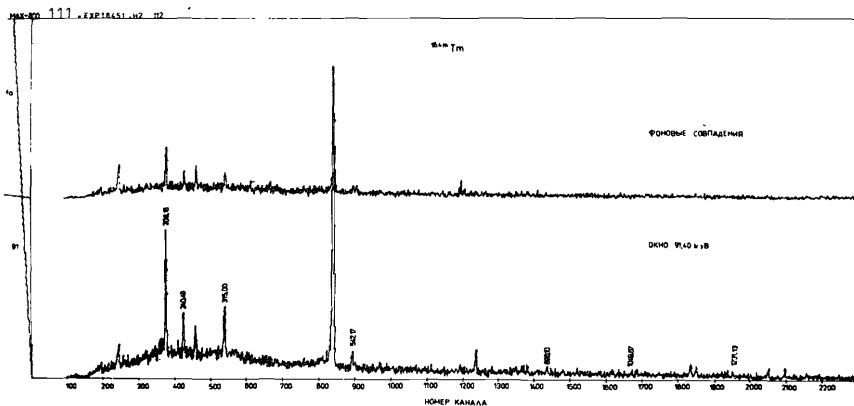


Рис. 2. Спектр совпадений  $\gamma$ -лучей с  $\gamma$ -переходом 91,40 кэВ.

Расчитанные интенсивности совпадений вычислялись в соответствии со схемой распада (см. рис. 3). Предполагалось, что расчетная и экспериментальная интенсивности совпадений  $\gamma$ -лучей с энергией 547,17 и 898,10 кэВ равны. Наблюдается удовлетворительное согласие между экспериментальными и расчетными интенсивностями совпадений. Если применить критерий, что совпадения наблюдаются при  $I_{\gamma\gamma}$  больше  $3 \Delta I_{\gamma\gamma}$ , тогда мы впервые наблюдаем совпадения:  $\gamma$ 208,15 кэВ с  $\gamma$ 410,41 кэВ,  $\gamma$ 1049,89 кэВ и  $\gamma$ 1364,86 кэВ;  $\gamma$ 315,00 кэВ с  $\gamma$ 410,41;  $\gamma$ 820,72 и  $\gamma$ 1049,87 кэВ;  $\gamma$ 547,17 кэВ с  $\gamma$ 583,23 и  $\gamma$ 898,10 кэВ. Мы наблюдали все

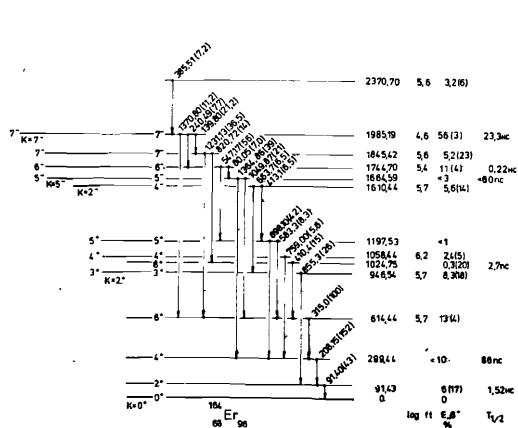


Рис. 3. Схема распада  $^{164m}\text{Tm} \rightarrow ^{164}\text{Er}$ .

Таблица 2. Результаты анализа спектров  $\gamma$ - $\gamma$ совпадений при распаде  $^{164m}\text{Tm}$

$E_{\gamma 1}$ [кэВ]	$E_{\gamma 2}$ [кэВ]	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$ [отн. ед.] (эксп.)	$I_{\gamma\gamma}$ [отн. ед.] (расч.)	$E_{\gamma 1}$ [кэВ]	$E_{\gamma 2}$ [кэВ]	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$ [отн. ед.] (эксп.)	$I_{\gamma\gamma}$ [отн. ед.] (расч.)
208,15	80,05	1,2(8)	8,3 <sup>0)</sup>	583,3	315,0	14,5	13,1
	91,40	22(4)	49,0 <sup>0)</sup>		547,17	22(7)	15,6
	139,80	15,8(28)	15,6	820,72	139,80	9(3)	5,3
240,49	80,05	3,4(16)	4,8 <sup>0)</sup>		208,15	19(7)	19,0
	91,40	10,4(25)	13,5 <sup>0)</sup>		315,0	23(7)	22,4
	208,15	89(9)	80,8		410,4	10(9)	23,8
315,00	80,05	2,8(17)	3,4 <sup>0)</sup>	898,10	91,40	4(4)	13,4 <sup>0)</sup>
	91,40	12(3)	23,2 <sup>0)</sup>		139,80	7(3)	2,0
	139,80	27(4)	18,0		208,15	67(10)	55,8
	208,15	105(10)	134		240,49	40(7)	36,3
	240,49	29(5)	28,4		547,17	78(11)	78 <sup>a)</sup>
385,51	240,49	7,7(22)	4,7	1049,87	91,40	9(4)	6,7 <sup>0)</sup>
410,4	139,80	3,5(22)	5,3		208,15	26(8)	28,0
	208,15	12(3)	19,6		240,49	22(6)	18,3
	315,00	17(5)	23,1		315,00	31(8)	45,8
547,17	91,40	9(3)	18,0 <sup>0)</sup>	1231,13	91,40	15(5)	11,8 <sup>0)</sup>
	208,15	75(8)	75,1		139,80	39(6)	13,6
	240,49	59(8)	43,5		208,15	65(10)	49,0
	315,00	10(5)	14,7		315,00	70(10)	57,7
583,3	208,15	13(5)	11,1	1364,86	208,15	49(9)	52,3
	240,49	8(3)	7,2		240,49	46(8)	34,3

а) Расчитанные и экспериментальные интенсивности совпадений  $\gamma$ - $\gamma$  нормировались по совпадениям  $\gamma$ 898,10 кэВ с  $\gamma$ 547,17 кэВ.

б) Не учитывалось возможное уменьшение эффективности совпадений для малых энергий  $\gamma$ -лучей.

совпадения  $\gamma$ -лучей, которые приведены в работе /1/, за исключением совпадений  $\gamma$ -лучей 139,80 кэВ с  $\gamma$ -лучами 410,41 кэВ.

Дебур и др. /1/ предложили первую схему распада  $^{164m}\text{Tm}$ . Все возбужденные уровни  $^{164m}\text{Tm}$  они ввели на основе результатов  $\gamma$ - $\gamma$ совпадений, кроме уровней гамма-вибрационной полосы с энергией ( $I^{\pi}$ ): 1058,44 кэВ ( $4^+$ ), 1358,3 кэВ ( $6^+$ ) и 1544,3 кэВ ( $7^+$ ). Эти три уровня разряжаются в /1/ лишь одним переходом, а уровень  $6^+$  заселится двумя переходами 624,9 кэВ и 385,4 кэВ. В этом случае, для состояния 1358,3 кэВ  $6^+$  сильно нарушается баланс интенсивностей, даже ес-

ли предположить, что данный уровень заселяется одним из этих переходов. Нами была уточнена энергия перехода 624,05 (32) кэВ и энергия с ним связанных уровней 1985,20 и 1358,34 кэВ. Оказалось, что не выполняется баланс энергии,  $E_{\gamma}$  624,05(32) кэВ не согласуется с разностью 626,86(26) кэВ = 1985,20(20) кэВ - 1358,34(16) кэВ.

Мы не наблюдали переходы с энергией 743,9 кэВ и 929,9 кэВ, которые в /1/ разряжают уровни 6,2<sup>+</sup> и 7,2<sup>+</sup>. Ввиду этого мы не вводим в схему распада  $^{164}\text{mTm}$  состояния 1358,3 кэВ 6<sup>+</sup> и 1544,3 кэВ 7<sup>+</sup>. Все возбужденные уровни, установленные Дебуром и др. /1/ на основе совпадений, однозначно подтверждаются нашими результатами измерений  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений (см. табл. 2).

Совпадения  $\gamma$ 240,43 кэВ с  $\gamma$ 385,51 кэВ позволяют ввести уровень с энергией 2370,70(27) кэВ. Состояние 1058,44 кэВ I,  $K^{\pi} = 4,2^{+}$  было введено в работе /20/ на основе  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений, при изучении реакции ( $\alpha, 2n\gamma$ ). Мы наблюдаем переход 759,00 кэВ, который разряжает вышеуказанное состояние, поэтому предполагаем, что оно заселяется и при  $\beta$ -распаде  $^{164}\text{mTm}$ . При изучении возбужденных уровней  $^{164}\text{Er}$  в ядерных реакциях /7/ по совпадениям  $\gamma$ - $\gamma$  было введено и состояние 1610,21 кэВ; I,  $K^{\pi} = 4,2^{-}$ , которое разряжается переходом 663,3(5)кэВ. Нами обнаружены переходы 663,7(4) кэВ и 413,1(4) кэВ, вероятно, связанные с рассматриваемым состоянием. Поэтому мы в схему распада (см. рис. 3) предположительно вводим уровень 1610,21 кэВ; 4,2<sup>-</sup>.

Экстрем и др. /21/ измерили спин I = 6 изомерного состояния  $^{164}\text{mTm}$ . Бета-распад этого состояния на уровень с энергией 1985,19 кэВ в  $^{164}\text{Er}$  имеет  $\lambda_{\beta} t_{1/2} = 4,9$  и является разрешенным незадержанным (00). В данной области ядер такой переход, как было показано в работах /1,21/, может происходить между состояниями 6<sup>-</sup> { p7/2<sup>+</sup>/404/ + 5/2<sup>-</sup>/523/ }  $\rightarrow$  7<sup>-</sup> { p7/2<sup>+</sup>/404/ + p7/2<sup>-</sup>/523/ }. Такая структура и была приписана изомерному состоянию с  $I^{\pi} = 6^{-}$  и уровню 1985,19 кэВ  $I^{\pi} = 7^{-}$ .

Расчет  $\lambda_{\beta} t_{1/2}$  для других переходов, связанных с распадом изомерного состояния  $^{164}\text{mTm}$ , был выполнен нами в предположении, что энергия распада этого состояния равна 4100 кэВ, т.е. мы полагаем, что энергия возбуждения изомера примерно равна 140 кэВ, так как Q = 3962 кэВ для распада  $^{164}\text{Tm}$  /22,23/. Полагаем, что на основное состояние  $^{164}\text{Er}$   $\beta$ -распад не происходит ( $\Delta I = 6$ ). Баланс интенсивностей уровней с энергией 299,44; 1197,53 и 1664,59 кэВ получился отрицательным, по абсолютной величине меньшим соответствующей двукратной среднеквадратичной ошибки. На рис. 3 приводим лишь верхний предел интенсивности заселения этих уровней и  $\lambda_{\beta} t_{1/2}$  не вычисляем. Полученные для остальных уровней значения  $\lambda_{\beta} t_{1/2}$  считаем ориентировочными.

Ротационная полоса основного состояния при бета-распаде  $^{164}\text{mTm}$  возбуждается до уровня с  $I^{\pi} = 8^{+}$ . Указанные на рис. 3 времена жизни этих уровней взяты из /24/. Времена жизни некоторых уровней с отрицательной четностью даны на рис. 3 по результатам работ /2/.  
Свойства коллективных состояний  $^{164}\text{Er}$  проанализированы в рамках модели взаимодействующих бозонов (МВБ). В первом варианте расчетов использовалась модель МВБ-I, оперирующая с бозонами одного типа /25/.

Гамильтониан этой модели имеет вид:

$$H_{\text{МВБ-I}} = H_{\text{ВАР}} \cdot m_{\alpha} + \sum_{L=0,2,4} \frac{1}{2} \sqrt{2L+1} c_L [(d^+ d^+)^{(L)} (\tilde{d} \tilde{d})^{(L)}]^0 + \\ + F \{ [(d^+ d^+)^{(2)} (\tilde{d} \tilde{d})^{(2)}] + \text{э.с.} \} + G \{ [(d^+ d^+)^{(0)} (s s)^{(0)}]^0 + \text{э.с.} \} + \\ + \frac{C_{H1}}{2} s^+ s^+ s s + C_{H2} \sqrt{5} [(d^+ s^+)^{(2)} (\tilde{d} \tilde{s})^{(2)}]^0 \quad (1)$$

Включаются все слагаемые, учитывающие взаимодействия двух бозонов, обозначения такие же, как в /25/. Бозонный образ оператора квадрупольного электрического перехода представляется в виде:

$$T(E2) = E2SD (s^+ \tilde{d} + d^+ s) + \frac{1}{\sqrt{5}} E2DD (d^+ \tilde{d})^{(2)} \quad (2)$$

а приведенные вероятности E0  $\gamma$ -переходов рассчитывались с помощью оператора

$$T(E0) = E0 d^+ \tilde{d} \quad (26)$$

где коэффициент E0 выбирается на основе сравнения экспериментальных и вычисленных значений B(E0) для одного из  $\gamma$ -переходов.

Во втором варианте расчетов использовано упрощенное выражение для гамильтониана (1), предложенное Варнером и Кастеном /26/ с применением согласованного Q-формализма:

$$H_{\text{QQ}} = -\alpha Q_0 Q - \alpha' L_0 L \quad (3)$$

где квадрупольный оператор Q имеет вид:

$$Q = s^+ \tilde{d} + d^+ s + \frac{1}{\sqrt{5}} \chi_Q (d^+ \tilde{d})^{(2)} \quad (4)$$

а оператор  $L = \sqrt{10} (d^+ \tilde{d})^{(4)}$ . Приведенные вероятности E2-переходов рассчитываются по формуле:

$$T(E2) = \alpha Q \quad (4)$$

где  $\alpha$  - постоянная, а Q - оператор Q в (3).

В общем случае МВБ-I (первый вариант расчетов) гамильтониан (1) содержит 6 независимых параметров, и оператор (2) - еще два параметра. Во втором варианте расчетов (согласованный Q-формализм) число всех параметров в (3) и (4) уменьшается до четырех.

В первом варианте расчетов параметры выбраны так, чтобы получить наименьшее расхождение между расчетными и экспериментальными значениями.

ми энергии уровней. Полученные таким образом восемь параметров (в МэВ) приведены ниже (шесть из них являются независимыми):

$$\begin{aligned} \text{НВАР} &= 0,2282 & F &= 0,0872 \\ C_0 &= 0,1271 & G &= -0,0779 \\ C_2 &= -0,1327 & \text{CH1} &= 0,0280 \\ C_4 &= 0,0569 & \text{CH2} &= -0,0222. \end{aligned}$$

Отношение параметров  $E2_{DD}/E2_{SD} = -0,47$  получено из экспериментальных значений

$$\frac{B(E2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)}{B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)} = 0,027 / 27/.$$

Параметр  $\chi_Q = -1,09$  во втором варианте расчетов определен из того же отношения приведенных вероятностей  $B(E2)$ . Параметры  $\chi = 0,0213$  и  $\chi' = -0,0066$  установлены по моменту инерции полосы основного состояния и по энергии уровня  $\Gamma^{\pi} K_i = 0^+ 0_2$ .

На рис. 4 сравниваются экспериментальные и вычисленные энергии уровней  $^{164}\text{Er}$ . Относительное положение  $\beta$ - и  $\gamma$ -колебательных уровней хорошо воспроизводится расчетами по согласованному Q-формализму. Однако в этих расчетах не получается правильное значение момента инерции для  $\beta$ -состояния ( $E(20) - E(00)$ ), а вычисленные значения энергии уровней с большими спинами больше экспериментальных. Вычисления по варианту I (при использовании 6 независимых параметров) уменьшают эти расхождения. Вариант II может быть несколько лучше опи-

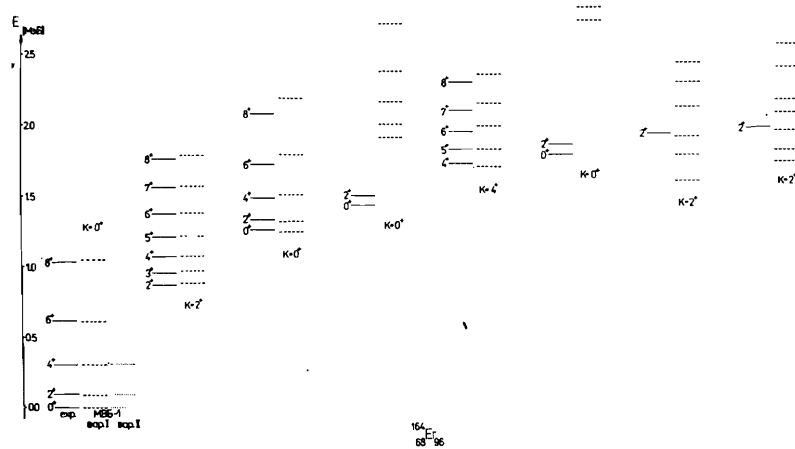


Рис. 4. Сравнение экспериментальных и расчетных значений энергии возбужденных состояний в  $^{164}\text{Er}$ .

сывает расположенные выше уровни. В расчетах по варианту I появляется уровень  $\Gamma^{\pi} = 2^+ 1,6$  МэВ, который нельзя связать с известными вращательными полосами.

В рамках МВБ-I (по I и II вариантам) выполнены расчеты приведенных вероятностей E2- и E0-переходов (см. табл. 3 и 4). Теоретическое (вариант II) значение параметра смешивания полосы основного состояния и  $\gamma$ -полосы  $Z_{\gamma} = 0,049$  хорошо согласуется с экспериментальным  $Z_{\gamma} = 0,055(10)$ . Значение, вычисленное по варианту I  $Z_{\gamma} = -0,016$ , противоречит эксперименту.

Таблица 3. Экспериментальные и теоретические отношения приведенных вероятностей E2-переходов, разряжающих уровни  $^{164}\text{Er}$

$I_i, K_i$ [кэВ]	$E_i$ [кэВ]	$I_f, K_f$ [кэВ]	$E_f$ [кэВ]	$B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f K_f) / B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f' K_f')$			
				эксп.	Алага	МВБ-I вар.1	МВБ-I вар.2
2 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	860, 21	4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	561, 46	0,30(10)	0,0715	0,0512	0,153
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>γ</sub>	768, 91	1,96(23)	1,43	1,27	1,92
		0 <sup>+</sup> , 0 <sub>γ</sub>	860, 25	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
3 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	946, 54	4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	647, 52	0,83(21)	0,400	0,311	0,725
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>γ</sub>	855, 11	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
4 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	1058, 61	4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	759, 08	5,3(II)	2,94	2,18	6,39
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>γ</sub>	967, 81	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
5 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	1197, 53	6 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	583, 3	1,7(4) <sup>a</sup>	0,571	0,381	1,44
		4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	898, 10	≡ I <sup>b</sup>	≡ I	≡ I	≡ I
0 <sup>+</sup> , 0	1246, 05	2 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	385, 3	2(I)		9,68	133
		2 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	1154, 69	≡ I		≡ I	≡ I
2 <sup>+</sup> , 0	1314, 48	0 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	68, 49	1200(400)		281	3800
		2 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	454, 6	8(4)		15,1	123
		4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1015, 02	1,6(3)	2,57	2,23	3,55
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1223, 17	2,3(5)	1,43	1,39	1,07
		0 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1314, 04	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
4 <sup>+</sup> , 0	1469, 89	4 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1170, 4	1,7	0,91	0,76	0,28
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1378, 50	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
2 <sup>+</sup> , 0	1483, 57	2 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1392, 30	1,8(4)	1,43	0,159	1,06
		0 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1483, 21	≡ I	≡ I	≡ I	≡ I
0 <sup>+</sup> , 0	1702, 17	2 <sup>+</sup> , 0	218, 54	860(300)		19,5	278
		2 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	842, 07	9,5(II)		22,7	62,6
		2 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	1610, 67	≡ I		≡ I	≡ I
2 <sup>+</sup> , 0	1788, 37	2 <sup>+</sup> , 0 <sub>β</sub>	474, 2	380(140)		5580	4340
		4 <sup>+</sup> , 2 <sub>γ</sub>	729, 27	74(19)		105	101

Таблица 3. (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8
		4 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I489,II	28(6)	2,57	4,55	0,0027
		2 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I696,5	8,0(I6)	1,43	3I,3	3,57
		0 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I788,IO	≡I	≡I	≡I	≡I
0 <sup>+</sup> ,0	I765,8I	2 <sup>+</sup> ,2 <sub>γ</sub>	905,75	6,9(9)		2I800,	I,35
		2 <sup>+</sup> ,0	I674,30	≡I		≡I	≡I
2 <sup>+</sup> ,0	I833,34	2 <sup>+</sup> ,2 <sub>γ</sub>	973,38	4,2(I5)		I6,5	95,3
		4 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I533,90	2,7(4)	2,57	0,164	I,70
		2 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I742,07	2,6(4)	I,43	0,273	0,072
		0 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	I833,00	≡I	≡I	≡I	≡I
0 <sup>+</sup> ,0	2I72,76	(I,2) <sup>+</sup>	289,09	I300(400)			
		2 <sup>+</sup> ,0	689,42	38(8)		274	2420
		2 <sup>+</sup> ,2 <sub>γ</sub>	I3I2,28	4,2(II)		8,70	I5,7
		2 <sup>+</sup> ,0 <sub>g</sub>	208I,27	≡I		≡I	≡I

а) Определение экспериментального отношения приведенных вероятностей производилось с помощью данных, полученных при распаде <sup>164</sup>mTm. Остальные экспериментальные величины отношений V(E2) вычислены на основе интенсивностей γ-переходов, соответствующих распаду <sup>164</sup>Tm /I2/.

Теоретические и экспериментальные значения параметра Расмуссена (отношения вероятностей монопольных и квадрупольных переходов)

$$X_{ijj}^{(I)} = \frac{V(E0; I_i \rightarrow I_j)}{V(E2; I_i \rightarrow I_j)} \quad \text{для } I \neq 0$$

$$X_{ijk}^{(0)} = \frac{V(E0; 0_i \rightarrow 0_j)}{V(E2; 0_i \rightarrow 2_k)} \quad \text{для } I = 0.$$

Вычисленные значения вероятностей V(E0) нормированы отдельно в варианте I и II так, чтобы достичь согласия с измеренным значением X<sub>2II</sub><sup>(0)</sup> = 0,27. Тогда отношение параметров E0/E2SD = 0,0772 для варианта I и 0,0074 для варианта II. Экспериментальные величины X<sub>2II</sub><sup>(I)</sup> и X<sub>3II</sub><sup>(I)</sup> довольно хорошо воспроизводятся расчетами по согласованному Q-формализму (вариант I).

Вычисленные значения отношений приведенных вероятностей V(E2)/V(E2) и V(E0)/V(E2) переходов, разряжающих остальные выше расположенные уровни, не обнаруживают удовлетворительного согласия с экспериментом. По-видимому, несомненно, что на структуру уровней высоких ротационных полос сильно влияют эффекты, которые МВБ-I не учитывает: двухквасичастичные конфигурации, парные вибрации и др. Поэтому применять МВБ-I при изучении структуры состояний, особенно высоколежащих, следует с осторожностью.

Таблица 4. Сравнение экспериментальных и теоретических отношений приведенных вероятностей (параметр Расмуссена) X = V(E0)/V(E2) для E0-переходов в <sup>164</sup>Er

(I)	(E <sub>ур</sub> )	E <sub>γ</sub> (E0)	E <sub>γ</sub> (E2)	эксп. а)	X <sub>ijj</sub> <sup>(I)</sup>	МВБ-I, вар.1.	МВБ-I, вар.2.
X <sub>ijj</sub> <sup>(I)</sup>	(кэВ)	(кэВ)	(кэВ)				
X <sub>2II</sub> <sup>(0)</sup>	I246,05	I246,I	II54,69	0,27(7)		0,27	0,27
X <sub>2II</sub> <sup>(2)</sup>	I3I4,48	I223,I7	I223,I7	0,33(10)		0,I73	0,329
X <sub>2II</sub> <sup>(4)</sup>	I469,89	II70,4	II70,4	I,0(5)		0,I02	0,679
X <sub>3II</sub> <sup>(0)</sup>	I4I6,54	I4I6,54	I325,I5	0,I4(5)		5,I5	0,3I6
X <sub>3II</sub> <sup>(2)</sup>	I483,57	I392,30	I392,30	0,87(25)		0,3II	0,27I
X <sub>4II</sub> <sup>(0)</sup>	I702,I7	I702,I	I6IO,67	0,069(23)		I8,8	0,0I36
X <sub>4II</sub> <sup>(2)</sup>	I788,37	I696,85	I696,85	0,64(19)		0,I05	0,00I2
X <sub>422</sub> <sup>(0)</sup>	I702,I7	456,4	(387,7)	>0,09		2,62	I4,4
X <sub>422</sub> <sup>(2)</sup>	I788,37	474,2	474,2	0,II(3)		0,0I08	0,000024
X <sub>5II</sub> <sup>(0)</sup>	I765,8I	I765,8	I674,3	0,5I(I5)		0,007I	0,338
X <sub>5II</sub> <sup>(2)</sup>	I833,34	I742,07	I742,07	0,9(3)		0,747	0,073I
X <sub>522</sub> <sup>(0)</sup>	I765,8I	5I9,76	(45I,3)	>0,05		0,0607	I6I00
X <sub>6II</sub> <sup>(0)</sup>	I84I,6	I84I,6	I750,23	2,3(7)		0,0I80	0,00I9
X <sub>6II</sub> <sup>(2)</sup>	I9II,I0	I8I9,72	I8I9,72	0,65(2I)			

а) данные полученные в работе /II/.

Литература

- De Boer F.W.N., Goudsmit P.F.A., Koldewijn P., Meyer B.J. Nucl.Phys., 1971, v.A169, p.577.
- Charvet A., Chery R., Duffait R., Morgue M., San J. Nucl. Phys., 1973, v.A213, p.117.
- Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. N.Y., 1978,p.
- Kearns F., Varley G., Dracoulis G.D. et al. Nucl. Phys., 1977, v. A278, p.109.
- Kistner O.C., Sunyar A.W., Der Mateosian E. Phys. Rev., 1978, v.C17, p.1417.
- Yates S.W., Lee I.Y., Johnson N.R. et al. Phys. Rev., 1980, v. C21, p.2366.

7. Fields C.A., Hicks K.H., Ristinen R.A. et al., Nucl. Phys., 1984, v.A422, p.215.
8. Humanic T.J., Saladin J.X., Alessi J.G., Hussein A. Phys. Rev., 1981, v.C23, p.240.
9. Бондаренко В.А., Григорьев Е.П., Прокофьев П.Т. Изв. АН СССР, сер.физ., 1981, т.45, с.2141.
10. Бондаренко В.А., Григорьев Е.П., Прокофьев П.Т. Изв. АН СССР, сер.физ., 1982, т.46, с.2080.
11. Адам И., Гонс З., Громов К.Я., Исламов Т.А., Кононенко Г.А., Холматов А.Х. Краткие сообщения ОИЯИ, № 10-85, с.69.
12. Адам И., Баратова М.А., Гонс З., Исламов Т.А., Кононенко Г.А., Холматов А.Х. Тезисы докладов 35-го совещания: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра, Изд."Наука", Л., 1985, с.119.
13. Музиоль Г., Райко В.И., Тиррофф Х. Препринт ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
14. Байер Г.-Д., Новгородов А.Ф., Халкин В.А. Радиохимия, 1978, т.20, с.586.
15. Paradellis T., Hontzas S., Nucl. Instr, Meth., 1969, t.73, p.210.
16. Адам И., Гонс З., Громов К.Я., Пражак Ф., Яхим М. Изв. АН СССР, сер.физ., 1984, т.48, с.1819.
17. Адам И., Будзак А.В., Гонс З. и др. Сообщение ОИЯИ, Р6-82-127, Дубна, 1982.
18. Адам И., Бабаджанов Р.Д., Гонс З. Препринт ОИЯИ, Р6-80-120, Дубна, 1980.
19. Гонусек М., Липтак Я., Муминов К.М. и др. Препринт ОИЯИ, I3-12422, Дубна, 1979.
20. West R.L., Funk E.G., Visvanathan A., Adams J.P., Mihelich J.W. Nucl. Phys., 1976, v.A270, p.300.
21. Ekstrom C., Olsmats M., Wannberg B. Nucl Phys., 1971, v.A170, p.649.
22. Abdurazakov A., Gromov K., Dalkhsuren B. et al. Nucl. Phys., 1960, v.21, p.164.
23. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Джалепов Б.С. и др. Изв. АН СССР, сер.физ., 1960, т.24, с.278.
24. Venkova Ts., Andrejtscheff W. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1981, v.26, p.93.
25. Scholten O. The program package PHINT, Report KVI-63, Groningen, 1980.
26. Warner D.D., Casten R.F., Phys. Rev., 1983, v.C28, p.1798.
27. Ronningen R.M. Phys. Rev., 1982, v.C26, p.97.

Рукопись поступила в редакционный отдел  
14 ноября 1986 года.

Адам И. и др. P6-86-743  
Бета-распад изомера  $^{164m}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 5,1 \text{ м}$ )  
и структура возбужденных уровней  $^{164}\text{Er}$

Исследовался распад масс-сепарированных источников  $^{164m}\text{Tm}$ . Проведены измерения спектров  $\gamma$ -лучей и  $\gamma\gamma$ -совпадений. На основе измеренных данных построена схема распада  $^{164}\text{Tm} \rightarrow ^{164}\text{Er}$ . Проведены расчеты энергий уровней и вероятности E2-переходов, которые сравнены с экспериментальными значениями.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Adam I. et al. P6-86-743  
 $^{164m}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 5.1 \text{ m}$ ) Isomer Beta-Decay  
and  $^{164}\text{Er}$  Excited Level Structure

The decay of  $^{164m}\text{Tm}$  nucleus has been studied by means of mass-separated sources. The single  $\gamma$ - and  $\gamma\gamma$ -coincidence spectra have been measured. The  $^{164m}\text{Tm} \rightarrow ^{164}\text{Er}$  decay scheme is proposed on the basis of the experimental data. Comparison of the E2 experimental transition probabilities with the calculated ones has been made.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986