

Е0-ПЕРЕХОДЫ ПРИ РАСПАДЕ ^{164}Tm .
 0^+ -СОСТОЯНИЯ В ^{164}Er

И.Адам¹, З.Гонс, К.Я.Громов, Т.А.Исламов²,
Г.А.Кононенко, А.Х.Холматов³

С помощью β -спектрографов с постоянным однородным магнитным полем выполнены прецизионные исследования спектра конверсионных электронов при распаде ^{164}Tm . Обнаружено 10 переходов типа Е0, среди них четыре - переходы между возбужденными 0^+ -состояниями. Установлено существование в ^{164}Er семи возбужденных 0^+ -уровней. Анализируются их свойства.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Е0 Transitions at ^{164}Tm Decay.
 0^+ -States in ^{164}Er

I.Adam et al.

Precision investigations of the conversion electron spectrum at the decay of ^{164}Tm have been performed using β -spectrographs with the constant homogeneous magnetic field. Ten transitions of the Е0 type have been found, among them four transitions between excited 0^+ states. Seven excited 0^+ levels have been found in ^{164}Er . Their properties have been analysed.

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

Электрические монополярные (Е0)-переходы происходят при изменении радиального распределения электрических зарядов в ядре и представляют поэтому особый интерес. Экспериментальных данных о Е0-переходах в атомных ядрах сравнительно немного^{1/}. Их обнаружение затруднено тем, что для идентификации Е0-перехода нужно увидеть обычно слабые линии электронов внутренней конверсии /ЭВК/ и показать, что в γ -спектре соответствующая линия отсутствует.

¹ Институт ядерных исследований ЧСАН, Прага

² Научно-исследовательский институт прикладной физики
ТашГУ

³ Ташкентский государственный университет

Для этой цели необходимы прецизионные исследования спектров ЭВК.

Мы продолжили поиски и исследования $E0$ -переходов при распаде $^{164}\text{Tm} \xrightarrow[\beta^+]{2,0 \text{ мин.}} ^{164}\text{Er}$. Изотоп ^{164}Tm был открыт и изучался в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ^{/2-4/}. В^{/2/} показано, что основное состояние ^{164}Tm имеет спин и четность $I^\pi = 1^+$. Это создает благоприятные возможности для возбуждения и исследования в этом распаде уровней типа $I^\pi = 0^+$ в четно-четном ядре ^{164}Er и $E0$ -переходов между этими уровнями. Ранее обнаружены $E0$ -переходы и 0^+ -состояния ^{164}Er с энергиями 1246 кэВ, 1702 кэВ, 1765 кэВ и 2172 кэВ^{/3,4/}. Для получения более полных данных необходимо было выполнить тщательные исследования сложного спектра ЭВК при распаде ^{164}Tm . Они проводились с помощью комплекса β -спектрографов с постоянным однородным магнитным полем^{/5/}, имеющих разрешающую способность $\Delta H_p/H_p = 0,03 \pm 0,07\%$. Спектры ЭВК на фотопластинках обрабатывались на специально разработанном^{/6/} автоматическом микрофотометре в линию с ЭВМ ЕС-1010. Сведения о ряде слабых линий ЭВК получены при усилении изображений на фотопластинках методом автордиографии с применением радиоактивной ^{35}S ^{/7/}. Спектры ЭВК изучались также с помощью спектрометра с $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором. Спектры γ -лучей и γ - γ -совпадений исследованы с помощью γ -спектрометров с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами.

Для изучения спектров ЭВК, γ -лучей и γ - γ -совпадений при распаде ^{164}Tm мы использовали в качестве источника препарат ^{164}Yb / $T_{1/2} = 75$ мин/ в равновесии с дочерним ^{164}Tm / $T_{1/2} = 2$ мин/. ^{164}Yb был получен при облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 МэВ на синхротронном ОИЯИ. Источники для β -спектрографов готовились методом электроосаждения. Для спектрометров с полупроводниковыми детекторами использованы полученные на электромагнитном масс-сепараторе моноизобарные источники.

При исследовании спектров ЭВК и γ -лучей ^{164}Tm в диапазоне от 3 до 3000 кэВ обнаружено более 140 переходов, из них 50 - новых. Определены мультипольности 75 γ -переходов, для 50 из них - впервые. На основе данных о спектрах ЭВК и γ -лучей и спектрах γ - γ -совпадений построена схема распада ^{164}Tm , включающая в себя 37 возбужденных состояний; введены четыре новых уровня, уточнены характеристики еще нескольких уровней. Эти результаты будут опубликованы позднее. Остановимся здесь на полученных экспериментальных данных о $E0$ -переходах при распаде ^{164}Tm .

В спектрах ЭВК ^{164}Tm /см., например, рис.1/ идентифицировано 10 переходов типа $E0$, шесть из них - новых, и 11 переходов типа $M1 + E2 + E0$. В табл.1 представлены результаты сравнения экспериментальных величин коэффициентов внутрен-

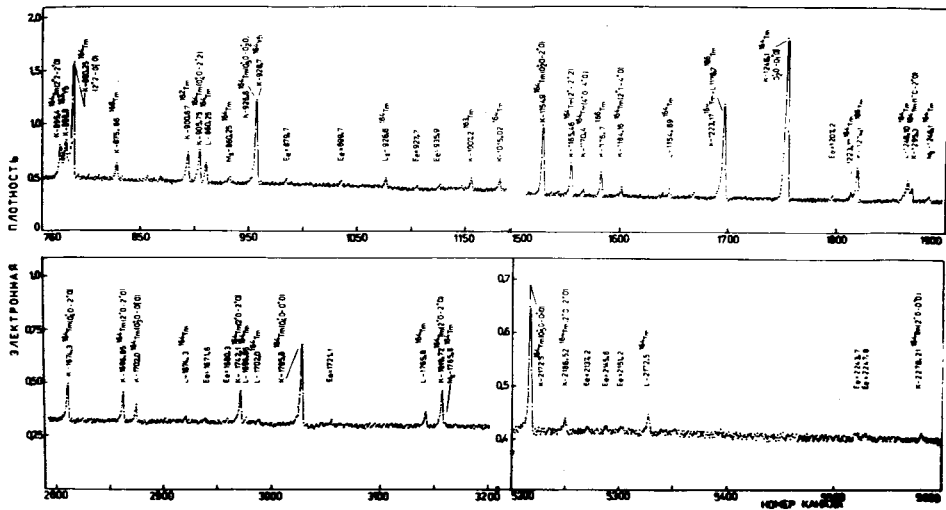


Рис.1. Участок спектра ЭВК, измеренный на β -спектрографе СП-3 / $H = 580$ Гс/.

ней конверсии /или пределов a_k / с расчетными для мультипольностей $M1$ и $E2$. Сравнение со значениями для более высоких мультиполей не проводили, так как маловероятно, чтобы при распаде $^{164}\text{Tm} / I^\pi = 1^+ /$ возникали такие γ -переходы. Для всех $E0$ -переходов, кроме $407,0$; $1416,6$ и $1841,6$ кэВ, измерены разности энергий К- и L-линий ЭВК и однозначно показано, что переходы происходят в ядре эрбия.

Возбуждающиеся при распаде ^{164}Tm состояния с $I^\pi K = 0^+0$ и их ротационные уровни изображены на рис.2. Четыре уровня типа 0^+ : $1246,1$; $1702,2$; $1765,8$; $2172,8$ кэВ и их вращательные состояния уверенно подтверждаются результатами изучения спектров γ - γ -совпадений и совпадениями величин сумм энергий γ -переходов, разряжающих эти уровни, $I^\pi K$ этих уровней однозначно устанавливаются $E0$ -переходами с них в основное состояние, $E0$ -переходами между 0^+ -уровнями и мультипольностью других переходов с этих уровней.

Обнаруженный новый $E0$ -переход с энергией $1416,6$ кэВ позволяет считать, что уровню с такой энергией, введенному в ^{164}Tm , следует приписать спин 0 , а не 1 , и, таким образом, уровень $1416,6$ кэВ должен иметь $I^\pi K = 0^+0$. Уровни $1416,6$ и $1483,6$ кэВ образуют вращательную полосу $/ I^\pi = 0^+ \text{ и } 2^+ /$ состояния с $K^\pi = 0$.

Не подтверждается существование 0^+ -уровня с энергией 2185 кэВ, введенного в ^{164}Tm на основе наблюдения $E0$ -перехода той же энергии. Мы обнаружили γ -лучи с энергией $2186,5$ кэВ и показали, что этот переход имеет мультиполь-

Таблица 1

К определению мультипольности переходов типа
 $E0$ и $E0 + M1 + E2$ при распаде ^{164}Tm

$E_\gamma (\Delta E_\gamma)$, кэВ	теор.			Вывод о мультипольности
	$\alpha_k^{\text{экс.}}$	α_k^{M1}	α_k^{E2}	
	$\times 10^3$			
407,0(I)	>60	53	23	$E0^H$
456,4(2)	>180	38	17	$E0^H$
474,2(2)	83(30)	35	15	$M1+E2+E0$
519,76(2I)	>50	28	12	$E0^H$
794,62(52)	47(18)	9,4	4,5	$M1+E2+E0^H$
926,6(4)	>130	6,7	3,4	$E0^H$
963,96(3)	32(II)	6,0	3,1	$M1+E2+E0$
II70,4(4)	>20	3,7	2,1	$M1+E2+E0^H$
I223,17(6)	7(I)	3,3	1,9	$M1+E2+E0$
I246,1(4)	>400	3,2	1,8	$E0$
I392,30(II)	II(3)	2,4	1,5	$M1+E2+E0^H$
I416,6(5)	8,4(I5)	2,3	1,4	$E0^H$
I696,85(II)	3,8(8)	1,7	1,1	$M1+E2+E0$
I702,1(4)	>23	1,7	1,1	$E0$
I742,07(II)	4,4(I3)	1,6	1,1	$M1+E2+E0$
I765,8(4)	>130	1,6	1,1	$E0$
I819,72(10)	3,0(7)	1,4	1,0	$M1+E2+E0$
I841,6(5)	>30	1,4	1,0	$E0^H$
I862,50(II)	2,4(8)	1,4	1,0	$M1+E2+E0$
2I72,5(4)	>400	0,9	0,8	$E0$
2I86,52(4I)	20(7)	0,9	0,75	$M1+E2+E0^H$

Примечание: н - новые данные.

ность $M1 + E2 + E0$ /см. табл.1/ и размещается между уровнями с $I^\pi = 2^-$; 2278 кэВ и 91 кэВ.

Уровни 1911,1 кэВ и 1953,9 кэВ с $I^\pi = 2^+$ отличаются заметной $E0$ -примесью в переходах с них на уровень $I^\pi K = 2^+0$ полосы основного состояния. Предположив, что эти уровни являются вращательными над новыми 0^+ -состояниями, мы предприняли поиски соответствующих им основных состояний. Анализ экспериментальных данных позволяет ввести в схему уровней ^{164}Er 0^+ -уровни с энергиями 1841,6 кэВ и 1861,3 кэВ.

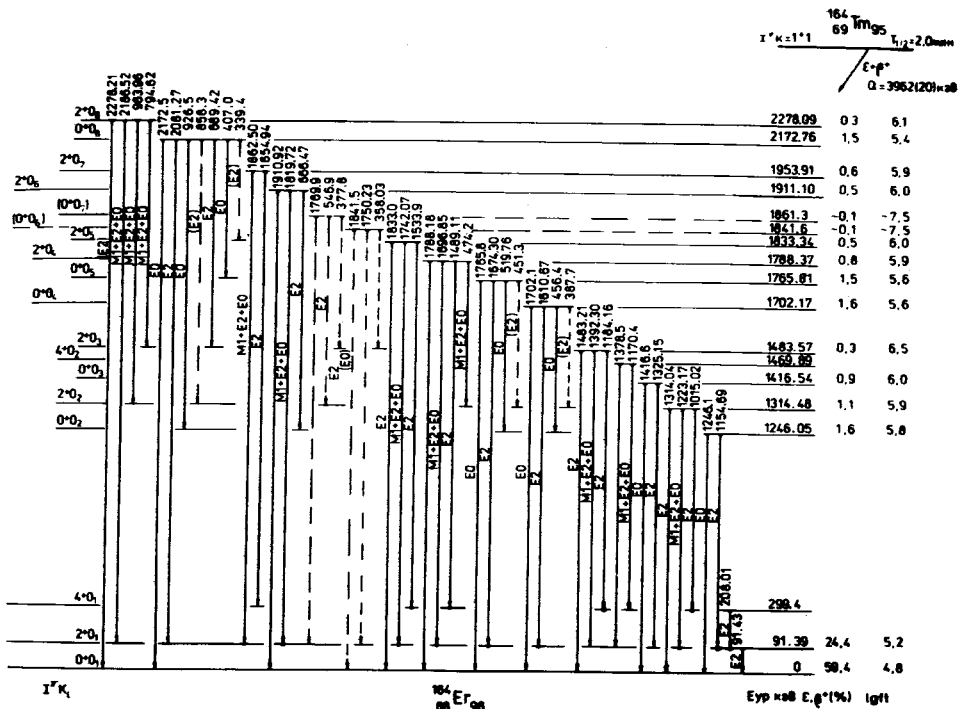


Рис.2. Состояния типа 0^+ в ^{164}Tm и связанные с ними ротационные уровни, возбуждаемые при распаде ^{164}Tm .

В табл.2 приведены вычисленные по экспериментальным данным значения параметра Расмуссена ^{9/}:

$$X_{ijj} = V(E0; 0_i^+ \rightarrow 0_j^+) / V(E2; 0_i^+ \rightarrow 2_j^+)$$

/отношение приведенных вероятностей $E0$ - и $E2$ -переходов с уровня 0^+ , где i и j - номера начального и конечного 0^+ -состояний. Величины X обнаруживают значительный разброс от $X_{411} = 0,07/2/$ до $X_{811} = 4,5/15/$, что говорит о разной природе рассматриваемых 0^+ -состояний. Заметим, что β -вибрационный уровень ^{9/} должен иметь $X = 4\beta_0^2 = 0,3-0,4$, т.е. β -колебательное состояние в ^{164}Tm имеет, по-видимому, энергию 1246 кэВ.

Беляев и др. ^{10/} для ряда ядер экспериментально изучили зависимость величины X от энергии возбуждения 0^+ -уровней и показали, что X резко увеличивается при приближении энергии уровня 0^+ к энергии щели. Как видно из рис.3, такое явление наблюдается и в ^{164}Tm . Появление в спектре возбуждений ядра состояний с аномально большим значением X объясняется моделью с самосогласованным спариванием Митро-

Таблица 2

Отношение приведенных вероятностей /параметр
Расмуссена/ $X = V(E0)/V(E2)$ для $E0$ -переходов в ^{184}Er

$X_{ijj}^{(1)}$	$(E_{yp})_i$, кэВ	$E_{\gamma}(E0)$, кэВ	$E_{\gamma}(E2)$, кэВ	$X_{ijj}^{(1)}$	$\bar{X}_{ijj}^{(1)}/X_{ijj}^{(0)}$
$X_{2II}^{(0)}$	1246,05	1246,1	1154,69	0,26(7)	1,00
$X_{2II}^{(2)}$	1314,48	1223,17	1223,17	0,33(10)	0,36(14)
$X_{2II}^{(4)}$	1469,89	1170,4	1170,4	1,0(5)	1,0(6)
$X_{3II}^{(0)}$	1416,54	1416,54	1325,15	0,14(5)	1,00
$X_{3II}^{(2)}$	1483,57	1392,30	1392,30	0,87(25)	1,8(8)
$X_{4II}^{(0)}$	1702,17	1702,1	1610,67	0,069(23)	1,00
$X_{4II}^{(2)}$	1788,37	1696,85	1696,85	0,64(19)	2,6(12)
$X_{422}^{(0)}$	1702,17	456,4	(387,7)	>0,09	1,00
$X_{422}^{(2)}$	1788,37	474,2	474,2	0,11(3)	0,35
$X_{5II}^{(0)}$	1765,81	1765,8	1674,3	0,51(15)	1,00
$X_{5II}^{(2)}$	1833,34	1742,07	1742,07	0,9(3)	0,50(24)
$X_{522}^{(0)}$	1765,81	519,76	(451,3)	>0,05	
$X_{6II}^{(0)}$	1841,6	1841,6	1750,23	2,3(7)	1,00
$X_{6II}^{(2)}$	1911,10	1819,72	1819,72	0,65(21)	0,08(4)
$X_{7II}^{(2)}$	1953,91	1862,50	1862,50	0,49(16)	
$X_{8II}^{(0)}$	2172,76	2172,5	2081,27	4,5(15)	1,00
$X_{8II}^{(2)}$	2278,09	2186,52	2186,52	14(6)	0,9(5)
$X_{822}^{(0)}$	2172,76	926,5	(858,3)	>2,9	1,00
$X_{822}^{(2)}$	2278,09	963,96	963,96	0,7(3)	<0,06
$X_{855}^{(0)}$	2172,76	407,0	(339,4)	>0,017	
$X_{833}^{(2)}$	2278,09	794,62	794,62	0,47(22)	

польского^{/11/}. В табл.3 полученные нами данные о величинах X сравниваются с расчетом по модели^{/11/}. Как видно, пока можно говорить только о качественном согласии. Следует отметить также заметное уменьшение величины X в начале графика рис.3.

В табл.2 приведены также отношения величин $\bar{X}_{ijj}^{(1)} = X_{ijj}^{(1)} < I_j | 0 > / I_j | 0 >$ и X_{ijj} . В адиабатическом приближении они равны единице. Хотя разброс величин этих отноше-

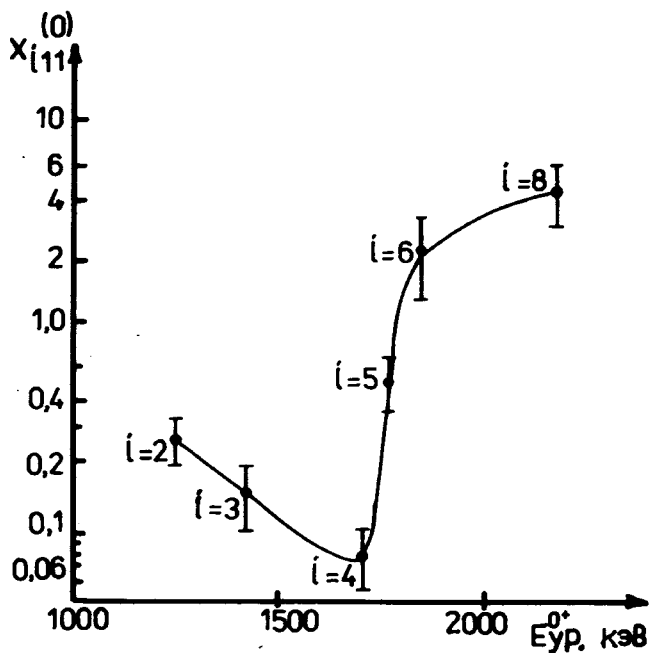


Рис.3. Зависимость величин $X_{i11}^{(0)}$ от энергии уровней 0^+ в ^{164}Er .

Таблица 3

Свойства 0^+ -состояний ^{164}Er в модели с самосогласованным спариванием $^{111/}$

$E_{ур}^{0+}$, кэВ		$X = B(E0)/B(E2)$	
эксп.	теор. $^{111/}$	эксп.	теор. $^{111/}$
1246	1246	0,26/7/	0,22
1416	1664	0,14/5/	12,2
1702	1960	0,07/2/	0,33
1765	1991	0,50/15/	0,20
1841	2117	2,3/7/	0,05
1861			
2172		4,5/15/	

ний велик, можно считать, что они не противоречат приписанию соответствующего уровня (10^+) к вращательной полосе данного 0^+ -состояния.

Мы полагаем, что большие возможности для изучения структуры 0^+ -состояний ядер дает исследование $E0$ -переходов между возбужденными 0^+ -состояниями. К сожалению, для обнаруженных нами $E0$ -переходов между возбужденными 0^+ -состояниями пока определены только пределы величин X , и поэтому трудно сделать строгие выводы из этих данных.

Литература

1. Воинова-Елисеева Н.А. Препринт ЛИЯФ, № 673, Л., 1981.
2. Абдуразаков А.А. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1960, т.24, № 4, с.278; Nucl.Phys., 1960, 21, p.164.
3. Басина А.С. и др. ЯФ, 1965, т.2, вып.2, с.204.
4. Врзал Я. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1967, т.31, № 4, с.604.
5. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Умаров Г.Я. Бета-спектрограф с постоянными магнитами. "Фан", Ташкент, 1970.
6. Исламов Т.А. и др. ОИЯИ, P10-12794, Дубна, 1979.
7. Громова И.И. и др. ОИЯИ, P6-82-487, Дубна, 1982.
8. De Boer F.W. et al. Nucl.Phys., 1971, A169, p.577.
9. Rasmussen J.O. Nucl.Phys., 1960, 19, p.85.
10. Беляев Б.Н. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 1978, т.42, с.1928.
11. Mitropolsky I.A. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1981, 7, p.921.

Рукопись поступила 13 июня 1985 года.