

сообщения  
Объединенного  
Института  
Ядерных  
Исследований  
Дубна

3739/2-80

11/8-80

P6-80-364

Б.А.Аликов, Я.Ваврышук, Г.Лизурей, Н.З.Марупов,  
К.М.Муминов, Т.М.Муминов, У.С.Салихбаев,  
Р.Р.Усманов

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ  
НИЖНИХ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ  
163,165,167  $T_m$

1980

## 1. ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени возбужденные состояния нечетно-протонных ядер  $^{183,185,187}\text{Tm}$  относительно хорошо изучены при исследовании как радиоактивного распада<sup>/1-11/</sup>, так и ядерных реакций<sup>/12-17/</sup>. Результаты этих исследований позволили установить в этих ядрах хорошо развитые ротационные полосы, основанные на одночастичных состояниях  $1/2^+$ /411/,  $3/2^+$ /411/,  $5/2^+$ /402/,  $7/2^+$ /402/,  $7/2^+$ /404/,  $1/2^-$ /541/,  $7/2^-$ /523/,  $9/2^-$ /514/.

Дополнительную информацию о физической природе возбужденных состояний ядер можно получить при изучении вероятностей электромагнитных переходов. Ниже приводятся имеющиеся сведения о временах жизни возбужденных состояний в ядрах Tm.

в $^{183}\text{Tm}$ :	$E_{ур} = 86$ кэВ,	$T_{1/2} = 380/30/$ нс <sup>/5/</sup> ;
в $^{185}\text{Tm}$ :	$E_{ур} = 80$ кэВ,	$T_{1/2} = 80/3/$ мкс <sup>/13/</sup> ,
	$E_{ур} = 159$ кэВ,	$T_{1/2} = 322/20/$ пс <sup>/12/</sup> ,
	$E_{ур} = 160$ кэВ,	$T_{1/2} = 9,0/5/$ мкс <sup>/7/</sup> ;
в $^{187}\text{Tm}$ :	$E_{ур} = 116$ кэВ,	$T_{1/2} = 66/7/$ пс <sup>/12/</sup> ,
	$E_{ур} = 142$ кэВ,	$T_{1/2} = 343/15/$ нс <sup>/12/</sup> ,
	$E_{ур} = 179$ кэВ,	$T_{1/2} = 1,1 /1/$ мкс <sup>/11/</sup> ,
	$E_{ур} = 293$ кэВ,	$T_{1/2} = 0,9 /1/$ мкс <sup>/11/</sup> .

В данной работе представлены результаты измерений времен жизни возбужденных уровней 13,5; 136,7; 144,4 кэВ -  $^{183}\text{Tm}$ ; 11,5; 129,9; 159,1 кэВ -  $^{185}\text{Tm}$ ; 10,4 и 116,6 кэВ -  $^{187}\text{Tm}$ .

## 2. РАДИОАКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Измерения проводились с радиоактивными источниками  $^{188,185,187}\text{Yb}$ , полученными в реакции глубокого расщепления Ta или Hf протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

После короткого облучения /4-10 мин / на выведенном пучке протонов мишень без предварительной химической обработки разделялась по изобарам на электромагнитном масс-сепараторе<sup>/18/</sup>, при

этом ионы изобаров с  $A = 163, 165, 167$  внедрялись в сцинтилляционные пленки типа NE104 /  $\phi 10 \times 0,1$  мм / или в Al-фольги толщиной 10 мкм. Измерения начинались через 4-5 мин. после конца облучения.

В случае использования танталовой мишени основная активность выделяемых изобаров определялась радиоактивным распадом ядер  $^{163}\text{Yb} / T_{1/2} = 11,1$  мин /,  $^{163}\text{Tm} / T_{1/2} = 1,81$  час / и  $^{163}\text{Er} / T_{1/2} = 1,25$  час / в изобарах с  $A = 163$ ;  $^{165}\text{Lu} / T_{1/2} = 11,8$  мин / и  $^{165}\text{Yb} / T_{1/2} = 10,5$  мин / - в изобарах с  $A = 165$ ;  $^{167}\text{Lu} / T_{1/2} = 51,5$  мин / и  $^{167}\text{Yb} / T_{1/2} = 17,5$  мин / - в изобарах с  $A = 167$ .

При использовании гафниевой мишени вклад изотопов Lu в активность источников существенно уменьшался.

### 3. АППАРАТУРА

Измерения времен жизни проводились методом  $e\text{-}\gamma$  и  $e\text{-}e$  задержанных совпадений с помощью многоканальных временных анализаторов /19/, собранных на базе:

а / магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра и сцинтилляционного спектрометра с пластическими сцинтилляторами типа NE 104 размерами  $\phi 25 \times 25$  мм / для регистрации  $\gamma$ -лучей / или  $\phi 25 \times 0,1$  мм / для регистрации низкоэнергетических электронов /;

б / двух сцинтилляционных детекторов с пластическими сцинтилляторами NE 111 /  $\phi 25 \times 10$  мм / и NE 104 /  $\phi 10 \times 0,1$  мм /.

Временные спектры обрабатывались на ЭВМ CDC-6500 по программам "LIFTIM" и "GEXFIT" /20/.

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Времена жизни первых возбужденных состояний  $^{163}\text{Tm} / 13,5$  кэВ /,  $^{165}\text{Tm} / 11,5$  кэВ / и  $^{167}\text{Tm} / 10,4$  кэВ / измерялись в  $e^- / 8 \div 12$  кэВ / -  $\gamma / 60 \div 200$  кэВ / - совпадениях с использованием источников, полученных из мишеней Hf.

Для регистрации ЭВК низкоэнергетических переходов, разряжающих эти уровни, использовались пленочные сцинтилляторы с внедренными в них источниками. Полученные временные распределения совпадений /рис.1/ прослеживались на период полураспада материнских изотопов. Анализ кривых временных распределений позволил нам приписать следующие значения времен жизни:

$$^{163}\text{Tm}: E_{ур} = 13,5 \text{ кэВ}, T_{1/2} \leq 0,9 \text{ нс},$$

$$^{165}\text{Tm}: E_{ур} = 11,5 \text{ кэВ}, T_{1/2} = 0,75 / 5 / \text{ нс},$$

$$^{167}\text{Tm}: E_{ур} = 10,4 \text{ кэВ}, T_{1/2} = 0,95 / 5 / \text{ нс}.$$

Время жизни уровня 10,4 кэВ  $^{167}\text{Tm}$  также измерялось в совпадениях:

$$\gamma / 60 \div 200 \text{ кэВ} / - M 10,4 \text{ кэВ},$$

$$K 106 - e^- / 7 \div 10 \text{ кэВ} /.$$

В первом случае M - электроны перехода 10,4 кэВ выделялись с помощью магнитного  $\beta$ -спектрометра, а  $\gamma$ -лучи регистрировались пластическим сцинтиллятором NE 111

$\phi 25 \times 10$  мм, во втором - с помощью магнитного  $\beta$ -спектрометра выделялись электроны K106,

а электроны низкоэнергетического перехода 10,4 кэВ выделялись в сцинтилляционном тракте, где использовался пленочный сцинтиллятор, помещенный в вакуумную камеру магнитного  $\beta$ -спектрометра. Для

контроля в первом случае были измерены совпадения  $\gamma / 60 \div 200$  кэВ / - M 8,4 в  $^{163}\text{Tm}$ , а

во втором случае окно в сцинтилляционном тракте смещалось в более высокоэнергетическую область электронного спектра  $^{167}\text{Yb}$ .

Измеренные временные распределения совпадений, а также участки спектров ЭВК приведены на рис.2. Полученные в этих экспериментах значения

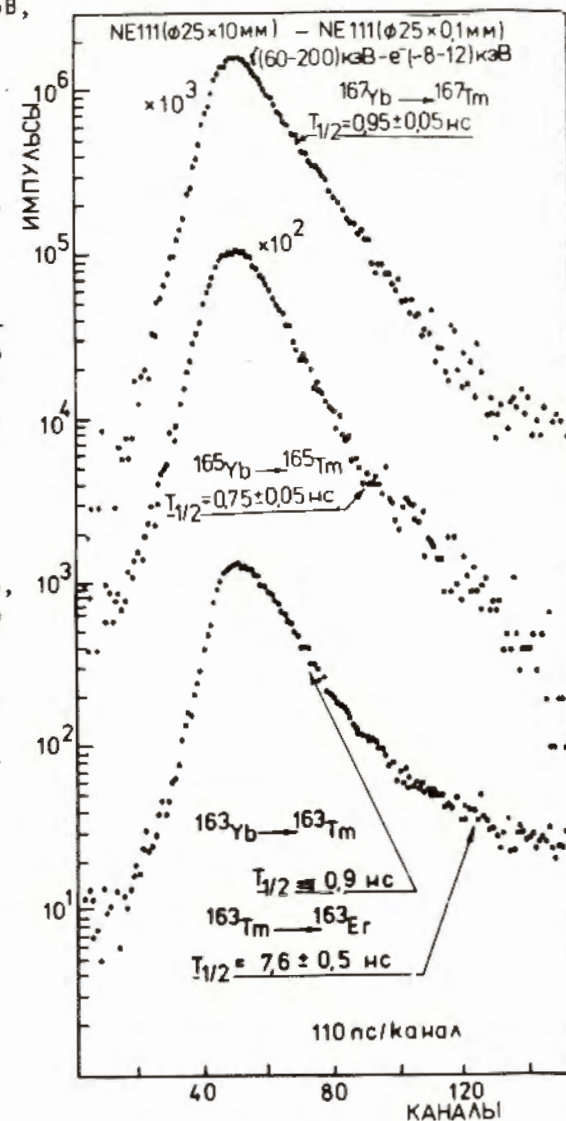


Рис.1

$T_{1/2} = 0,8/1/$  нс и  $T_{1/2} = 0,9/2/$  нс согласуются с результатом, приведенным выше.

Времена жизни уровней 136 и 144 кэВ  $^{169}\text{Tm}$  и 116 кэВ  $^{167}\text{Tm}$  определялись по сдвигу центров тяжести временных распределений, соответствующих совпадениям между  $\gamma$ -лучами и К-электронами внутренней конверсии переходов, разряжающих исследуемые со-

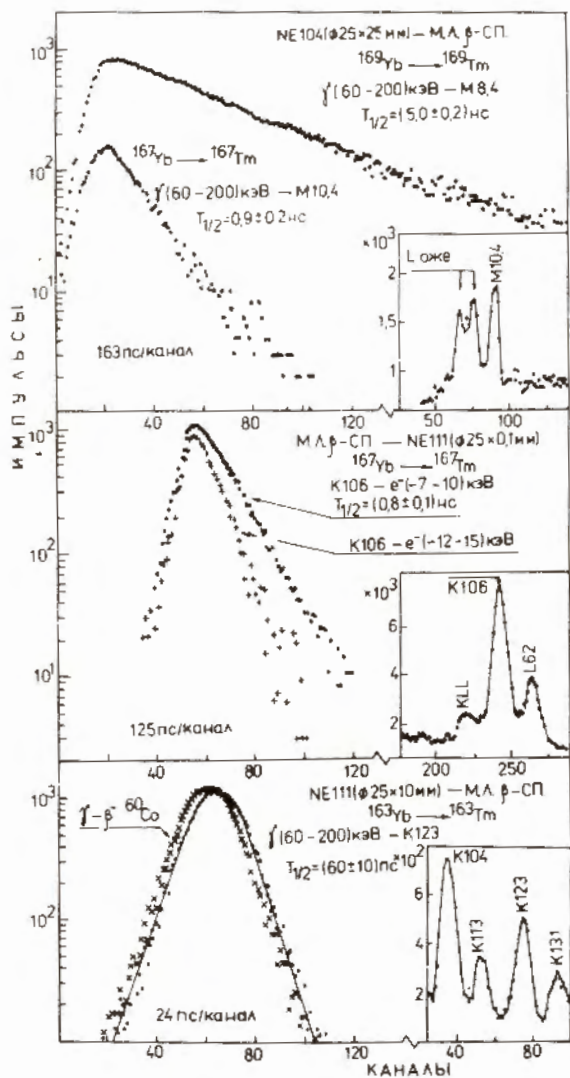


Рис. 2

стояния, и мгновенных  $\gamma$ - $\beta^-$ -реперов, измеренных в тех же условиях с использованием источника  $^{60}\text{Co}$ . Электроны выделялись с помощью магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра, а  $\gamma$ -лучи регистрировались в сцинтилляционном детекторе. Проводились три серии измерений с выделением в  $\gamma$ -канале "окон", соответствующих энергетическим диапазонам 60-200, 200-350 и 350-500 кэВ. С учетом всех серий измерений времена жизни уровней 136 и 144 кэВ  $^{169}\text{Tm}$  и 117 кэВ  $^{167}\text{Tm}$  были определены как  $T_{1/2} = 60/10/$  пс,  $T_{1/2} = 110/25/$  пс и

$T_{1/2} \leq 100$  пс соответственно. На рис. 2 для примера приведены временные распределения совпадений  $\gamma/60 \div 200$  кэВ/- K123 и  $\gamma$ - $\beta^-$ , измеренные при распаде  $^{169}\text{Yb}$  и

$^{60}\text{Co}$  соответственно. Времена жизни уровней 129 и 159 кэВ  $^{165}\text{Tm}$  были оценены по склонам временных

Таблица 1. Вероятности электромагнитных переходов в ядрах  $^{168}, ^{166}, ^{167}\text{Tm}$

$E_{\gamma}$ (кэВ)	$E_{\beta}$ (кэВ)	$2I2K/M\pi_2\Delta I$		GL	$\alpha_{\text{полн.}} / 2I/$	B(GL)	$f_w$	$f_n$
		Начальное состояние	Конечное состояние					
13,51 $\leq 0,9$	13,53	$3\Gamma^+/4\Pi/$	$1\Gamma^+/4\Pi/$	M	1,9+2	$\geq 7,5-2$	$\leq 2,4+1$	$\leq 0,94$
136,7 0,06(I)	136,7 123,21	$3\Gamma^+/4\Pi/$	$1\Gamma^+/4\Pi/$	E2 M M M	2,2+4 1,3 1,7	$\geq 1,2$ 9,8-3 $\geq 1,1-1$	$\leq 4,5-3$ 1,8+2 $\leq 1,6+1$	ротат. 7,2 $\leq 4,9$
144,4 0,110(25)	144,39 130,86	$5\Gamma^+/4\Pi/$	$1\Gamma^+/4\Pi/$	E2 E2 M	1,4 8,0-1 1,5	$\leq 5,5-1$ 7,2-1 $\geq 3,3-2$	$\geq 9,5-3$ 7,4-3 $\leq 5,4+1$	$\geq 1,2-2$ ротат. $\leq 2,6$
7,68	7,68	$3\Gamma^+/4\Pi/$	$3\Gamma^+/4\Pi/$	E2 (M)	1,2 2,4+2	$\leq 3,9-1$ 9,0-1	$\geq 1,4-2$ 2,0	ротат. 1,0-1

Таблица 1 / продолжение /

I	2	3	4	5	6	7	8	9
				$I^{65}Tm$ ( $\epsilon_2 = 0,261$ , $\epsilon_4 = 0,008$ )				
II, 5I 0,75(5)	II, 5I	$3I^+/4II/$	$II^+/4II/$	MI $\leq 1,0-3$	3,0+2	$\geq 8,8-2$	$\leq 2,1+1$	$\leq 9,0-1$
I29,6 $\leq 0,2$	I29,59 II8,06	$5I^+/4II/$	$II^+/4II/$	E2	8,0+4	$\leq 9,3-1$	$\geq 5,8-3$	ротаци.
I58,99 $\leq 0,3$	I47,29 29,3I	$7I^+/4II/$	$3I^+/4II/$	(MI)	1,2	$\geq 3,8$	$\leq 1,4-2$	ротаци.
		$5I^+/4II/$	$3I^+/4II/$	(E2)	2,0	$\geq 3,6-2$	$\leq 5,0+1$	$\leq 1,1$
		$5I^+/4II/$	$5I^+/4II/$	(MI)	7,6-1	$\geq 7,7-1$	$\leq 7,0-3$	ротаци.
					1,9+1	$\geq 1,3-1$	$\leq 1,4+1$	$\leq 8,0-1$
				$I^{67}Tm$ ( $\epsilon_2 = 0,267$ , $\epsilon_4 = 0,017$ )				
IO,4 0,95(5)	IO,4	$3I^+/4II/$	$II^+/4II/$	MI $\leq 1,0-3$	3,2+2	$\geq 8,7-2$	$\leq 2,1+1$	$\leq 4,0-1$
II6,57 $\leq 0,1$	II6,57 IO6,16	$5I^+/4II/$	$II^+/4II/$	E2	1,1+5	$\leq 1,2$	$\geq 4,8-3$	ротаци.
			$3I^+/4II/$	E2	1,7	$\geq 8,2-1$	$\leq 6,6-3$	ротаци.
				MI	2,7	$\geq 8,1-2$	$\leq 2,2+1$	$\leq 5,0-1$
				I,1-2				
				E2	2,5	$\geq 1,2-1$	$\leq 4,8-2$	ротаци.

Примечание: Запись типа 1,9+2 означает  $1,9 \times 10^2$ . Приведенные вероятности  $B(\sigma L)$  даны в единицах  $e^2$  для электрических и  $\mu_N^2$  для магнитных дипольных переходов. Теоретические значения равновесной деформации  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_4$  /при расчете  $B(\sigma L)_N$  / взяты из работы /24/.

распределений совпадений  $\gamma$ -K129 и  $\gamma$ -K159, как  $T_{1/2} \leq 0,2$  нс и  $T_{1/2} \leq 0,3$  нс соответственно.

### 5. ОБСУЖДЕНИЕ

На основе измеренных значений  $T_{1/2}$  эксп. исследуемых состояний рассчитаны приведенные вероятности  $\gamma$ -переходов, разряжающих эти состояния, которые сравниваются с теоретическими оценками по Вайскопфу /22/ и Нильссону /23/ /табл.1/. При этом данные о мультипольном составе и интенсивностях  $\gamma$ -переходов заимствованы из работ /5,9,10/.

Полученные значения приведенных вероятностей рассматриваемых  $\gamma$ -переходов согласуются в общем с имеющейся систематикой вероятностей аналогичных переходов в соседних деформированных ядрах /25/.

По вероятностям E2-переходов, разряжающих ротационные уровни полосы  $1/2^+/411/$ , оценены внутренние квадрупольные моменты и параметры квадрупольной деформации для этой полосы в исследуемых ядрах  $^{163,165,167}Tm$  /табл.2/. Используя величину квадрупольного момента  $Q_0 = 7,8/3/$  барн /12/, период полураспада состояния  $3/2^+$  в  $^{167}Tm$  и теоретические значения  $\alpha_{\text{подн.}}(M1)$  и  $\alpha_{\text{подн.}}(E2)$  /21/ для перехода  $10,4$  кэВ  $3/2^+ \rightarrow 1/2^+$ , можно получить  $\delta^2 = 8,0 \cdot 10^{-4}$  и величины приведенных вероятностей  $B(M1) = 9,0 \cdot 10^{-2} \mu_N^2$  и  $B(E2) = 1,2 e^2 b^2$ . Эти оценки хорошо согласуются с аналогичными для ядер  $^{163,165}Tm$ .

Таблица 2. Внутренние квадрупольные моменты и параметры деформации полосы  $1/2^+/411/$  в ядрах  $Tm$

Ядро $I_i \rightarrow I_f$	$I^{63}Tm$		$I^{65}Tm$		$I^{67}Tm$	
	$Q_{0\text{экс}}$ ( $\sigma$ )	$\epsilon_{2\text{экс}}$	$Q_{0\text{экс}}$	$\epsilon_{2\text{экс}}$	$Q_{0\text{экс}}$	$\epsilon_{2\text{экс}}$
$3/2 \rightarrow 1/2$			$\leq 6,8$	$\leq 0,25$	$\leq 7,6$	$\leq 0,28$
$5/2 \rightarrow 3/2$	$\leq 8,2$	$\leq 0,30$			$\geq 4,5$	$\geq 0,2$
$5/2 \rightarrow 1/2$	6,0(10)	0,23(4)	$\geq 4,4$	$\geq 0,17$	$\geq 6,2$	$\geq 0,23$
$7/2 \rightarrow 3/2$			$\geq 5,5$	$\geq 0,21$		
<b>ВЫВОДЫ</b>	6,0(10)	0,23(4)	5,5+6,8	0,21+0,25	6,2+7,6	0,23+0,28

По значениям  $V(M1, 3/2^+ \rightarrow 1/2^+)$  и  $Q_0$  оценены параметры

$$и \quad S_{3/2}^2 = (g_K - g_R)^2 (1 + b_0)^2 / Q_0^2$$

$$S_{5/2}^2 = (g_K - g_R)^2 (1 - b_0)^2 / Q_0^2$$

Для  $^{163}\text{Tm}$  -  $S_{3/2}^2 \approx 6,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $S_{5/2}^2 = 3,8(11) \cdot 10^{-2}$ ,

для  $^{165}\text{Tm}$  -  $S_{3/2}^2 > 9,3 \cdot 10^{-2}$ ,  $S_{5/2}^2 = 7,5(9) \cdot 10^{-2}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Paris P. Compt. Rend. 1967, 265, p.10.
2. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, Р6-3945, Дубна, 1968.
3. Chu Y.Y. Phys.Rev., 1972, C6, p.628.
4. De Boer F.W.N. et al. Radiochim.Acta, 1972, 17, p.218.
5. Adam I. et al. Nucl.Phys., 1975, A254, p.63.
6. Paris P. J.Phys. /Paris/, 1967, 28, p.388.
7. Tamura T. Nucl.Phys., 1968, A115, p.193.
8. Tamura T. et al. Phys.Rev., 1973, C8, p.2425.
9. Adam I. et al. JINR, E6-11299, Dubna, 1978.
10. Funke L. et al. Nucl.Phys., 1971, A175, p.101.
11. Tamura T. Nucl.Phys., 1965, 62, p.305.
12. Svensson L.-G. et al. Physica Scripta, 1976, 13, p.193.
13. Conlon T.W. et al. Nucl.Phys., 1967, A104, p.213.
14. Gizon J. et al. Nucl.Phys., 1972, A193, p.193.
15. Foin C. et al. Phys.Rev.Lett., 1975, 35, p.1697.
16. Cheung H.C., Burke D.G., Lovhoiden G. Can.Journ.Phys., 1974, 52, p.2108.
17. Winter G. et al. Nucl.Phys., 1970, A151, p.337.
18. Музиоль Г., Райко В.И., Тыррофф Х. ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
19. Alikov B.A., et al. Nucleonica, 1978, Vol.23, p.833.
20. Аликов Б.А. и др. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып.2, с.419.
21. Hager R.S., Seltzer E.C. Nucl.Data Tables, 1968, A4, p.1.
22. Lobner K.E.G. In: Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy. Ed. W.D.Hamilton, North-Holland, Amsterdam, 1975.
23. Gustafson C. et al. Arc.Fys., 1967, 36, p.613.
24. Ekstrom C., Lamm I.-L. Phys. Scripta, 1973, 7, p.31.
25. Andrejtscheff W., Schilling K.D., Manfrass P. Atomic Data and Nucl.Data Tables, 1975, 16, p.515.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 мая 1980 года.