

e
f

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

4816 / 2-81

28/9-81

P6-81-457

И.Адам,¹ А.Будзьяк, З.Гонс, М.Гонусек,¹
К.Я.Громов, Т.А.Исламов,² В.В.Кузнецов,
Н.А.Лебедев, А.А.Тангабаев²

ИССЛЕДОВАНИЕ ^{162}Tm
ВОЗБУЖДЕННЫХ УРОВНЕЙ
ПРИ РАСПАДЕ ^{162}Yb ($T_{1/2} = 18,9$ мин.)

Направлено в "Acta Physica Polonica"

¹ Институт ядерной физики, Ржеж, ЧССР.

² Ташкентский государственный университет.

1. ВВЕДЕНИЕ

Первые сведения о распаде $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$ были получены при исследовании спектра конверсионных электронов при помощи магнитного бета-спектрографа авторами работы^{/1/}. Исследования спектров γ -лучей и ЭВК при распаде ^{162}Yb продолжены в работах^{/2-4/}. Спин основного состояния ^{162}Tm измерен Экстремом и др.^{/5/} и равен 1. Основное состояние ^{162}Tm интерпретируется как нильссоновская конфигурация $1^-, p1/2^+ [411] \rightarrow n3/2^- [521]$. В работе^{/6/} на основе исследований ЭВК, γ -лучей, $e-\gamma$ - и $\gamma-\gamma$ -совпадений предложена схема возбужденных уровней ^{162}Tm . Уровень с энергией 44,64 кэВ является первым уровнем ротационной полосы основного состояния ^{162}Tm ^{/4/}. Состоянию с энергией 163,3 кэВ, принимая во внимание разрешенный незадержанный бета-переход при распаде ^{162}Yb на этот уровень, приписывают нильссоновскую конфигурацию $1^+, p7/2^- [523] \rightarrow n5/2^- [523]$. Авторами работ^{/7,8/} измерены времена жизни первых двух возбужденных состояний ^{162}Tm с энергией 44,64 кэВ - $T_{1/2} = 1,40/15 \cdot 10^{-9}$ с и 163,3 кэВ - $T_{1/2} = 1,12/10 \cdot 10^{-9}$ с. В настоящей работе продолжены исследования излучений, возникающих при распаде ^{162}Yb .

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Нейтрондефицитные изотопы иттербия мы получали в реакциях глубокого расщепления при облучении мишеней из тантала и гафния протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований. Использовались источники трех типов:

1. Для изучения спектров γ -лучей, $e-\gamma$ - и $\gamma-\gamma$ -совпадений применялись источники, полученные при облучении на выведенном пучке протонов $I_p \approx 0,1$ мкА/ мишеней из тантала и гафния, приготовленных из фольги толщиной 50 мкм. Вес мишеней 0,5 г. Длительность облучения 20 мин. Облученные мишени с помощью пневмопочты доставлялись к ионному источнику масс-сепаратора^{/9/}. Радиоактивные изотопы, образовавшиеся в мишени, разделялись по изобарам. Мишени из гафния давали большее отношение выходов изотопов иттербия и тулия^{/10/}. Источники, полученные из

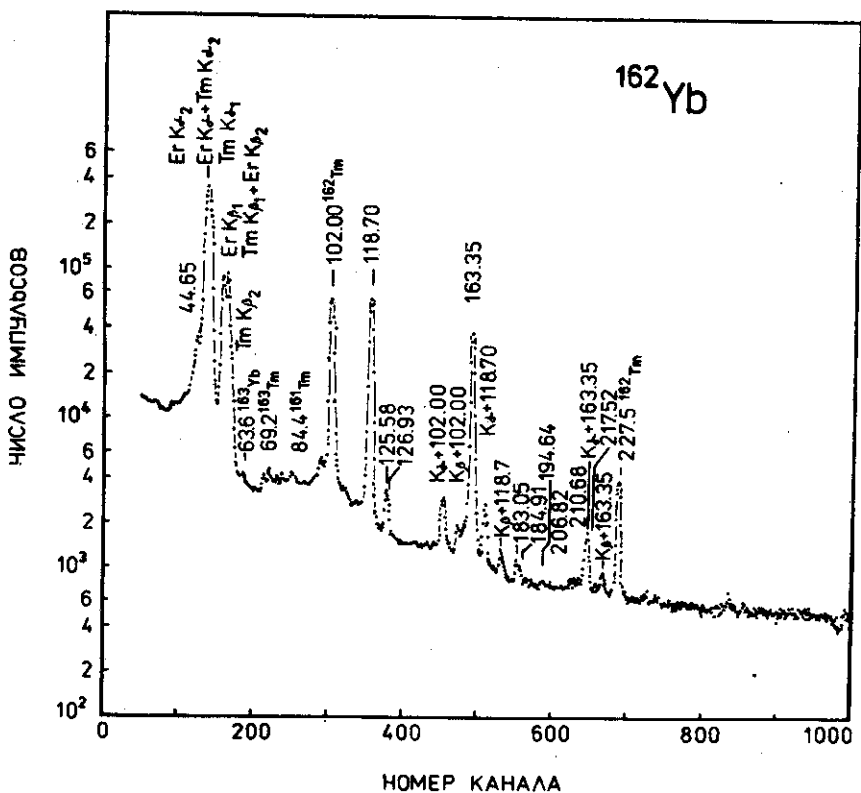


Рис.1. Спектр γ -лучей изобары $A=162$ в области малых энергий.

гафниевой мишени, использовались для изучения спектров γ -лучей. Для изучения спектров $e\text{-}\gamma$ и $\gamma\text{-}\gamma$ -совпадений применялись источники, полученные из танталовой мишени. Измерения во всех случаях начинались через 8-12 мин после конца облучения.

2. Для изучения спектров электронов внутренней конверсии /ЭВК/ с помощью $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора использованы источники, полученные при облучении тантала /вес равен 4 г/ на внутреннем пучке протонов $/J_p = 2\text{-}3 \text{ мкА}/$. Длительность облучения 15 мин. Проводилось быстрое радиохимическое выделение /в течение 40 мин/ фракции изотопов иттербия и разделение их на электромагнитном масс-сепараторе. Измерения начинались через 50-60 мин после конца облучения.

3. Для изучения ЭВК на бета-спектрографах с постоянным магнитным полем^{/11/} использовалась фракция изотопов иттербия, радиохимически выделенная^{/12/} из танталовой мишени, облученной на внутреннем пучке протонов /см. 2/. Источник готовился с применением быстрой /~3 мин/ методики электроосаждения^{/13/} на платиновую проволоку диаметром 100 мкм. Экспозиции на бета-спектрографах начинались через 45-50 мин после конца облучения.

При разделении изотопов на масс-сепараторах источники наносились на алюминиевую фольгу толщиной 18 мкм.

Спектры γ -лучей измерялись с помощью спектрометров с $\text{Ce}(\text{Li})$ -полупроводниковыми детекторами с чувствительными объемами:

1/ $0,5 \text{ см}^3$ / разрешение $\Delta E_\gamma = 0,8 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 122 \text{ кэВ}$;

2/ 41 см^3 / $\Delta E_\gamma = 2,4 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ}$;

3/ 47 см^3 / $\Delta E_\gamma = 2,5 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ}$ и

4/ 1 см^3 / $\Delta E_\gamma = 0,55 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 122 \text{ кэВ}$.

Для регистрации спектров γ -лучей использовался многоканальный амплитудный анализатор АИ-4096. Обработка спектров проводилась на ЭВМ НР-2116С. На рис. 1 и 2 представлены спектры γ -лучей изобары с $A=162$. Наряду с γ -переходами, возникающими при распаде ^{162}Yb , наблюдаются γ -переходы дочернего ^{162}Tm . Идентификация γ -лучей ^{162}Yb проводилась по спаду их интенсивности в нескольких последовательных сериях измерений спектра. γ -лучи ^{162}Tm идентифицировались на основе данных работ^{/4,14/}.

Энергетическая калибровка спектров проводилась с помощью источников ^{110}mAg , ^{138}Ba , ^{152}Eu , ^{182}Ta , ^{56}Co и ^{241}Am . Кривые эффективности регистрации γ -лучей использованными детекторами определялись при помощи калибровочных источников с точностью /3-8%. Результаты анализа спектров γ -лучей приведены в табл. 1. Наблюдено 45 γ -переходов ^{162}Yb , из них 39 - впервые.

Для исследования спектров ЭВК использовались бета-спектрометры двух типов:

1. Бета-спектрометр с $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором размерами $80 \text{ мм}^2 \times 4 \text{ мм}$ и разрешением $\Delta E = 880 \text{ эВ}$ при $E_0 = 100 \text{ кэВ}$. Детектор и источник помещены в однородное магнитное поле для селекции частиц по зарядам^{/15/}. Регистрация ЭВК проводилась с помощью многоканального анализатора INTERTECHNIQUE. Обработка спектров осуществлялась на ЭВМ "Минск-2".

2. Бета-спектрографы с постоянным однородным магнитным полем с разрешающей способностью $\Delta H_p/H_p = 0,03-0,07\%$. Электроны регистрировались на фотопластинках типа Р-50 производства НИИхимфото. Обработка спектров - определение энергий и интенсивностей ЭВК - проводилась при помощи автоматизированного микрофотометра^{/16/} и ЭВМ БЭСМ-6 и CDC-6500.

Рис. 2. Спектр γ -лучей изобара $A = 162$ в области
больших энергий.

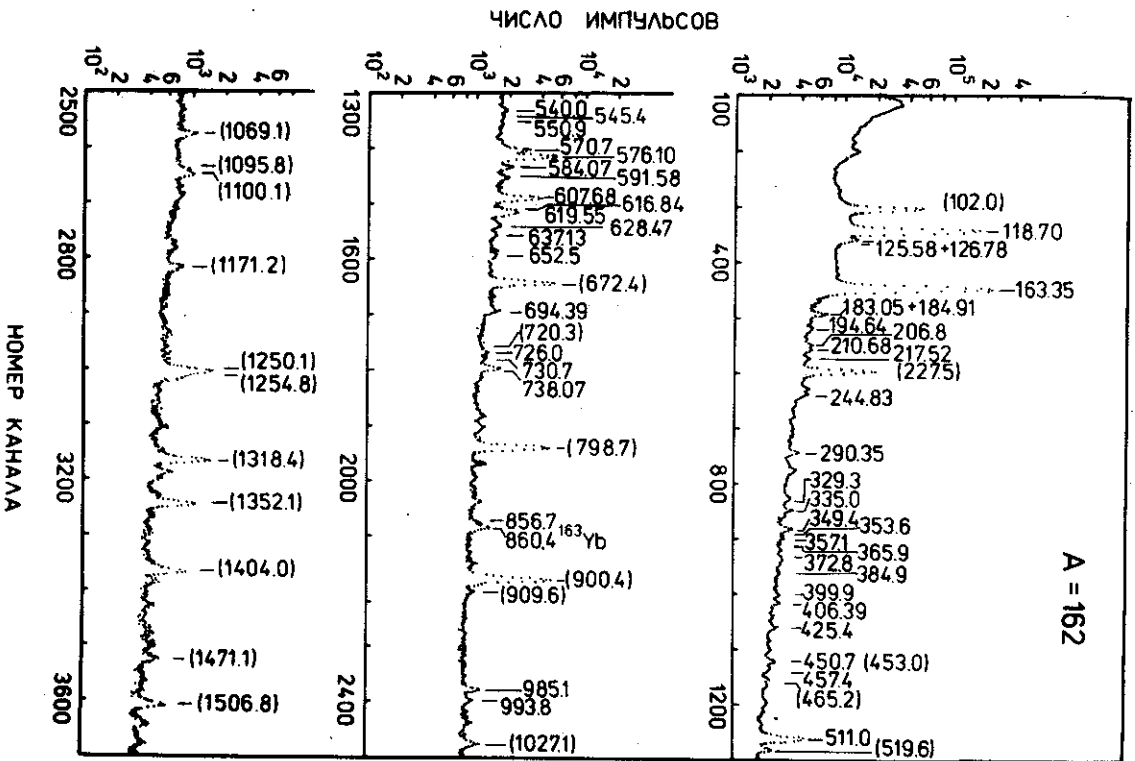


Таблица 1

Значения энергий и относительных интенсивностей γ -лучей и ЭВК при распаде ^{162}Yb

$E_\gamma(\Delta E_\gamma)$ кэВ	$I_\gamma(\Delta I_\gamma)$	$I_K(\Delta I_K)$	$I_{K'}(\Delta I_{K'})$	$I_{L_1}(\Delta I_{L_1})$	$I_{L_2}(\Delta I_{L_2})$	$I_{L_3}(\Delta I_{L_3})$	$\alpha_K^{\text{экс.}}$	$\Gamma^{\text{полн.}}$	Мультипольность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_\alpha(Tm)$	2500(180)								
44,65(2)*	75,7(30)			280(30)	230(25)	245(30)	L_1 3,70(42)	1060(50)	MI+7,8(I7)E2
118,70(2)*	840(40)		150(15)	16,0(15)	3,6(4)	4,2(4)	0,180(20)	1020(45)	E1
125,58(3)*	19,7(21)		10(3)				0,51(15)	30(10)	E2(+MI)
126,78(10)*	12,2(28)		16(4)				1,3(4)	28(10)	MI(+E2)
163,35(3)*	1000(40)		77(10)	8,5(15)	1,6(2)	1,7(2)	0,077(10)	1090(50)	E1
183,05(22)*	11,3(13)		~ 0,6				0,055(15)	12,0(15)	E1
184,91(38)	7,7(21)		~ 0,5				0,065(25)	8,2(20)	E1
194,64(9)	4,8(5)		-				-	4,8(5)	-
206,82(12)*	7,2(7)		0,40(10)				0,055(15)	7,6(8)	E1
210,68(8)	10,4(10)		~ 0,5				0,050(15)	11,0(20)	E1
217,52(7)	5,0(10)		сложн.				-	5,0(10)	-
244,83(10)*	5,6(10)		сложн.				-	5,6(10)	-
290,35(4)*	9,6(10)		~ 0,3				0,03(10)	9,9(10)	E1
329,26(30)*	6,4(30)		-				-	6,4(30)	-
335,02(8)	7,2(10)	0,40(10)	0,70(20)				0,10(3)	8,0(10)	MI(+E2)
349,44(7)*	10,4(10)	0,20(5)	сложн.				0,015(5)	10,6(10)	E1
353,57(17)	2,4(10)		-				-	2,4(10)	-

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
357,14(13)	3,2(10)	0,095(15)					0,030(10)	3,3(10)	E2
365,93(23)	1,6(10)		-				-	1,6(10)	
372,77(12)	4,8(10)		-				-	4,8(10)	
384,85(24)*	2,4(10)		-				-	2,4(10)	
399,86(14)*	4,0(10)	0,30(5)					0,080(25)	4,3(10)	MI
406,39(6)*	8,0(10)		сложн.					8,0(10)	
425,40(10)	5,6(10)		-					5,6(10)	
450,69(18)*	5,6(10)		-					5,6(10)	
457,38(19)*	7,2(10)		-					7,2(10)	
540,04(9)	5,6(10)		-					5,6(10)	
545,40(16)*	3,2(10)		-					3,2(10)	
550,86(19)	3,2(10)	0,30(5)	-				0,090(30)	3,5(15)	
576,10(4)*	80,7(50)	0,95(20)	1,3(3)	L -0,25(8)			0,015(5)	83(6)	MI(+E2)
584,07(7)*	16,0(20)	0,16(5)					0,010(5)	16,2(20)	E2
591,58(10)*	11,2(20)	0,060(20)	-				0,0055(20)	11,2(20)	E1
607,68(5)*	56,8(60)	0,55(7)	0,50(10)				0,0090(35)	57,5(60)	E2
616,84(10)*	16,8(30)		-					17(3)	
619,55(15)*	22,4(40)	0,40(15)	0,15(5)				0,0070(25)	22,6(40)	E2
628,47(12)*	7,2(10)		-					7,2(10)	
637,13(20)*	2,4(10)		-					2,4(10)	
652,54(50)*	5,0(20)		-					5,0(20)	
694,39(14)*	10,4(10)	0,2(15)	-				0,035(15)	10,7(10)	

Таблица 1 /продолжение/

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
725,96(18) ^ж	6,4(10)		-					6,4(10)	
730,71(20)	4,8(10)		-					4,8(10)	
738,07(13) ^{жж}	17,6(40)		-					17,6(40)	
774,31(10)	8,8(10)		-					8,8(10)	
782,47(10) ^ж	7,6(10)		-					7,6(10)	
856,71(18) ^ж	3,2(10)		-					3,2(10)	

- Примечание:
1. Данные о I_K , приводимые в колонке 3, получены на спектрометре с Si (Li)-детектором.
 2. Данные о I_{L_K} , $I_{L_{II}}$, $I_{L_{III}}$, $I_{L_{IV}}$, приводимые в колонках 4,5,6,7, получены на бета-спектрографах с постоянным магнитом.
 3. "сложн." - на месте расположения линии наблюдается несколько неразрешенных линий. Интенсивности этих линий не определялись.
 4. Переходы, отмеченные (ж), размещены в схеме распада.
 5. Переход, отмеченный (жж), размещается в схеме распада в двух местах.

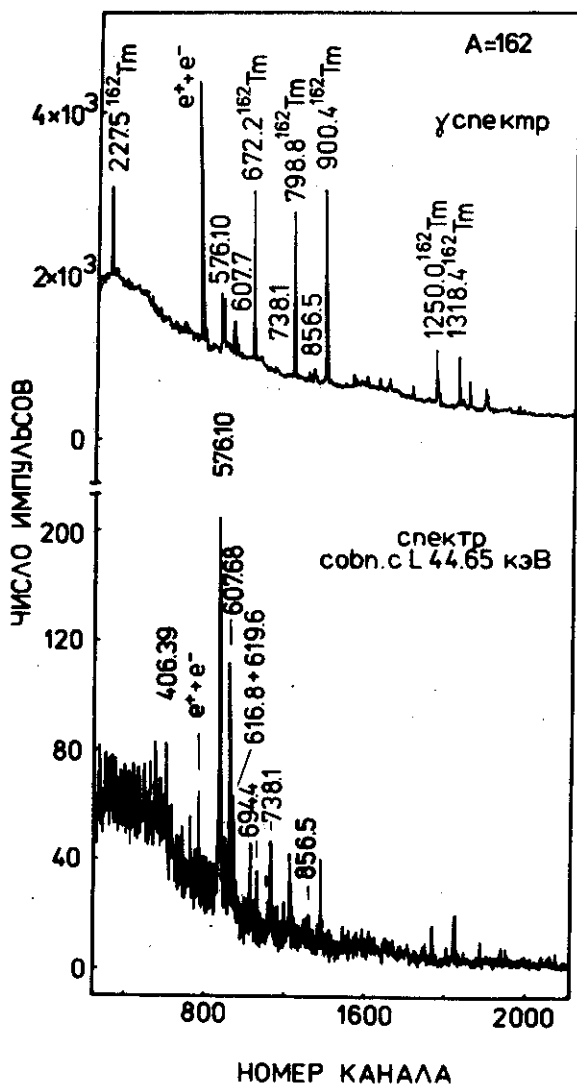


Рис.3. Спектры γ -лучей и (K 44,65, γ)-совпадений.

Результаты анализа спектров ЭВК приведены в табл.1. Бета-спектрографы высокого разрешения позволили получить детальную информацию о мягкой части спектра ЭВК, с помощью полупроводникового бета-спектрометра получены данные об интенсивностях К-линий более жестких γ -переходов. Сравнение экспериментальных и расчетных^{/17/} отношений интенсивностей К-, L_I-, L_{II}- и L_{III}-линий ЭВК позволило установить мультипольности переходов с энергиями 44,64; 118,7 и 163,35 кэВ как M1+ $\frac{1}{2}$, 1,7/% E2, E1 и E1, соответственно. Для связи шкал относительных интенсивностей γ -лучей и ЭВК мы использовали значение коэффициента внутренней конверсии перехода 163,35 кэВ (E1): $\alpha_K = 0,077$. При сравнении экспериментальных и расчетных^{/17/} значений α_K определены мультипольности ряда γ -переходов /см. табл.1/.

Спектры $e-\gamma$ -совпадений при распаде ^{162}Yb изучались на установке^{/18/}, созданной на базе безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем^{/19/} и гамма-спектрометра с Ge(Li)-детектором с чувствительным объемом $35 \text{ см}^3 / \Delta E = 3,5 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ}$. Временное разрешение установки составляло $50 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Изучались совпадения γ -лучей с ЭВК L-44,65. Полученный спектр совпадений показан на рис.3. Анализ результатов изучения $e-\gamma$ -совпадений проводился по методике, описанной в^{/20/}. Вычислялись отношения (а) -интенсивностей γ -линий в одиночном γ -спектре и спектре $e-\gamma$ -совпадений. Полученные значения отношений (а) нормируются так, чтобы максимальные их значения были равны 1. Эти значения соответствуют прямым совпадениям. Меньшие величины отношений соответствуют совпадениям через промежуточные γ -переходы, но всем переходам, идущим на один и тот же уровень, соответствует одно и то же значение отношения а. В табл.2 представлены результаты такого анализа.

Спектры $\gamma-\gamma$ -совпадений при распаде ^{162}Yb изучались на установке^{/21/} с использованием двух Ge(Li)-детекторов с чувствительными объемами 41 см^3 и 47 см^3 и разрешением $\Delta E = 2,5 \text{ кэВ}$ при $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ}$. Разрешающее время схемы совпадений составляло $30 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Трехмерные спектры совпадений записывались на магнитную ленту и обрабатывались на ЭВМ HP-2116C. Ряд полученных спектров $\gamma-\gamma$ -совпадений показан на рис.4.

Результаты обработки спектров $\gamma-\gamma$ -совпадений приведены в табл.3. Сравняются экспериментальные и рассчитанные по предлагаемой нами схеме распада ^{162}Yb интенсивности $\gamma-\gamma$ -совпадений.

3. СХЕМА РАСПАДА $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$

На основе анализа спектров γ -лучей, ЭВК, $\gamma-\gamma$ и $e-\gamma$ -совпадений предлагается схема распада $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$ /рис.5/. Схема распада рассчитывалась по программе "НАДАН"^{/22/}.

Таблица 2

Анализ результатов $e-\gamma$ -совпадений с L-44,65 кэВ
при распаде $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$

E_γ (кэВ)	$a_{\text{эксп.}}$	$a_{\text{расч.}}$
406,39	1,1(5)	1,0
576,10	0,45(9)	0,50(3)
584,07	0,2(1)	0,50(3)
591,58	0,40(13)	0,50(3)
607,68	0,40(10)	0,50(3)
616,84 + 619,55	0,46(13)	0,50(3)
628,47	0,30(13)	0,50(3)
694,39	0,6(3)	0,50(3)
725,96	0,7(4)	1,0
738,07	1,0(4)	1,0
856,5	0,7(4)	1,0

Примечание: 1. $a_{\text{эксп.}} = S_{e\gamma}/S_\gamma$, где $S_{e\gamma}$ - площадь фотопика в спектре $e-\gamma$ -совпадений, S_γ - площадь соответствующего фотопика в одиночном спектре γ -лучей.

$a_{\text{расч.}} = 1$ для прямых каскадов. Для совпадений через промежуточные γ -переходы $a < 1$ и зависят от разветвлений на промежуточных уровнях, но для всех переходов, идущих на определенный уровень, значения a равны между собой.

2. Малое значение $a_{\text{эксп.}}$ для γ -лучей с энергией 584,07 кэВ указывает на то, что этот переход сложный.

Экспериментальные данные об уровнях ^{162}Tm с энергией 0; 44,65 и 163,30 кэВ и их интерпретация, полученные в работах ^{/2-4/} полностью подтверждаются результатами настоящей работы. Кроме этих уровней, мы вводим 16 новых, более высоковозбужденных состояний ^{162}Tm /см. рис.5/. Интенсивность γ -переходов, не размещенных в схеме распада, составляет менее 5% всех распадов ^{162}Yb и менее 2% суммарной интенсивности γ -переходов при распаде ^{162}Yb . На основе экспериментальных данных рассчитаны интенсивности заселения уровней ^{162}Tm при распаде ^{162}Yb . На основе значений разности масс $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$, $Q_\beta \leq 2,2$ МэВ из ^{/23/} определены значения $\log ft$ для β -распада на уровни ^{162}Tm .

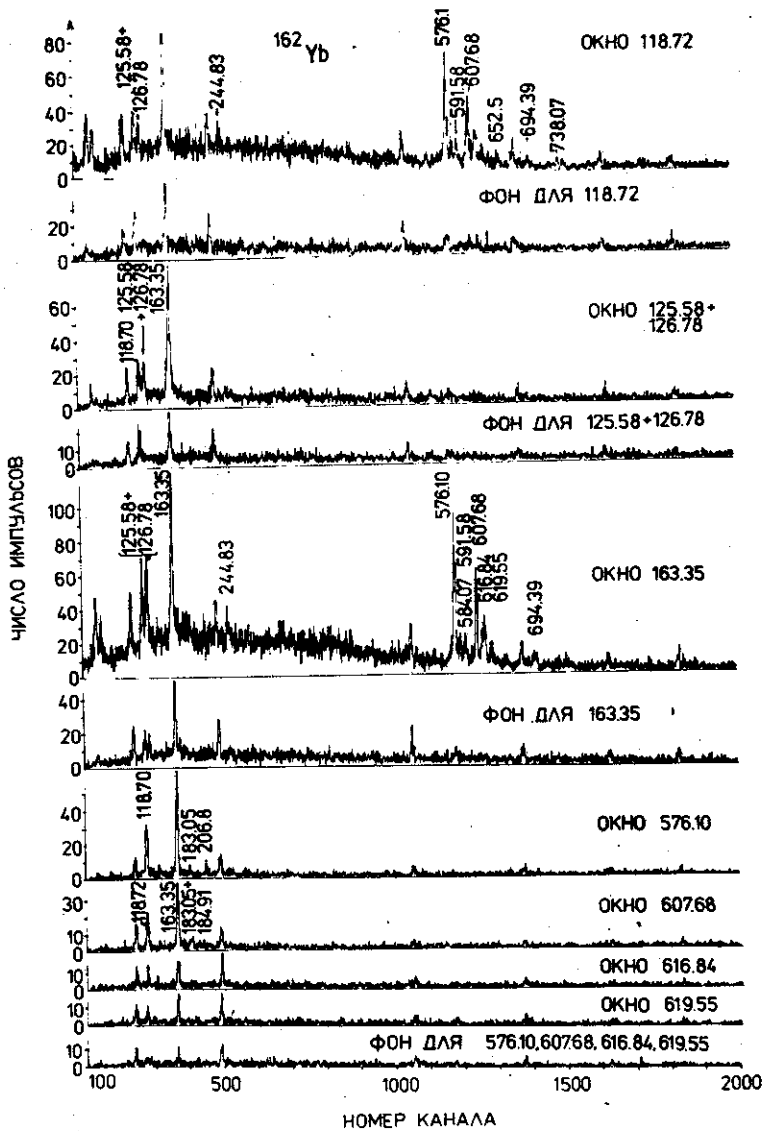


Рис.4. Спектры γ - γ -совпадений.

Таблица 3

Анализ результатов γ - γ -совпадений при распаде $^{182}\text{Yb} \rightarrow ^{182}\text{Tm}$

E γ (кэВ)	118,7		125,6 + 126,8		126,8		163,4		183,1 + 184,9		183,1	
	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{экс.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})^{\text{D.}}$
118,7												4,0(8)
163,4												5,0(10)
125,6 } 126,8 }	7(I)	2,4(7) 4,9(10)	6,0(30)	6,0(20)	6,0(20) } 4,5(25)	2,8(8) 5,8(15)						
244,8	2,0(10)	2,20(40)			1,5(7)	2,7(5)						
384,9		0,30(10)		1,6(7)	0,50(20)	0,40(10)						
399,9		0,40(10)		2,5(8)	0,80(30)	0,50(20)						
457,4		0,90(20)			2,2(6)	1,0(3)						
576,1	32,0(70)	32,0(20)				32,0(45)	38,0(30)					
584,1	5,0(20)	6,40(80)				3,0(8)	7,6(10)					
591,6	4,0(10)	4,50(80)				3,5(15)	5,5(10)					
607,7	20,0(40)	22,5(25)				26,0(50)	27,0(30)	4,5(20)		10,0(20)		
616,8	7,5(30)	6,7(10)					8,0(15)					
619,6	12,0(60)	9,0(15)				12,0(40)	10,6(20)					
628,5	3,7(15)	3,0(4)				3,0(15)	3,5(5)					
637,1	~1,3	1,0(4)				~1,3	1,0(5)					
652,5	1,3(10)	2,0(8)				1,5(6)	2,4(10)					
694,4	3,0(15)	4,0(5)				3,5(15)	5,0(5)					
738,1	1,3(8)	1,2(4)				0,4(2)	1,5(5)					

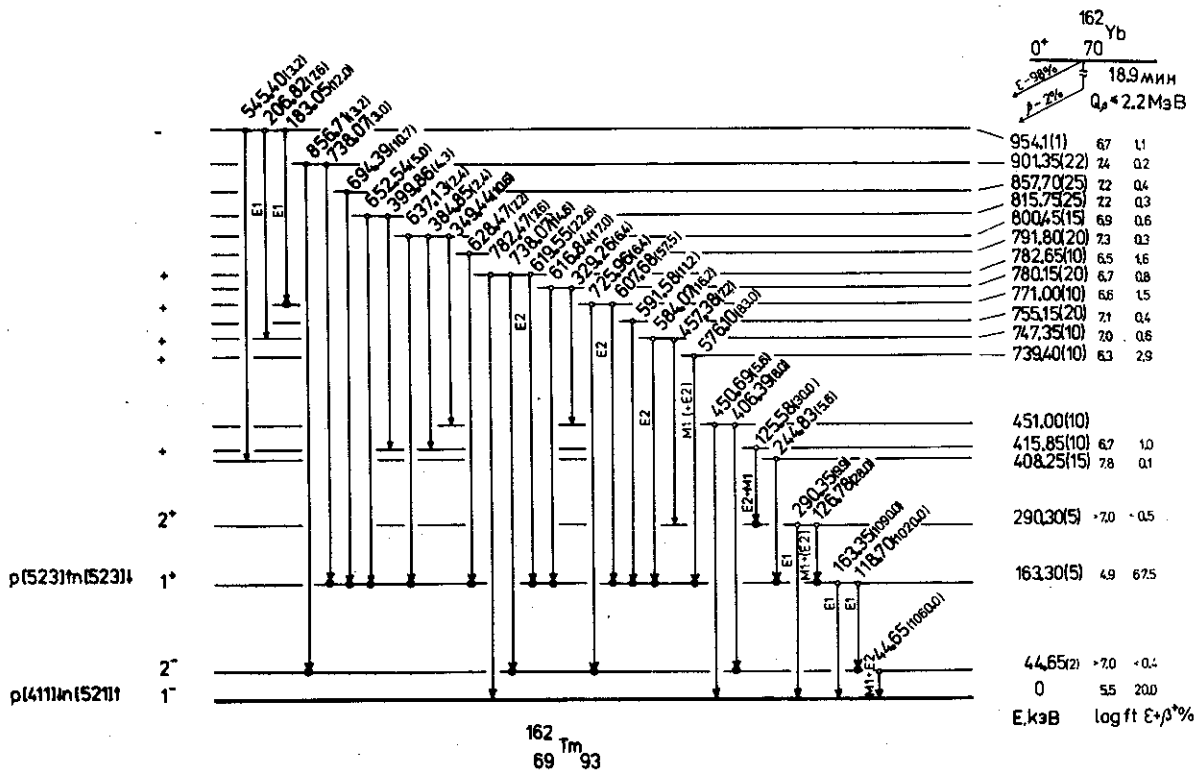


Рис. 5. Схема распада $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm}$.

Мультипольности γ -переходов и малая интенсивность β -распада на уровень 290,3 кэВ позволяют приписать этому уровню спин и четность - 2^+ . Имеющиеся данные о более высоких уровнях ^{162}Tm не позволяют пока высказать определенное суждение об их спинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdumalikov A.A. et al. Phys.Lett., 1963, 5, p.359.
2. Громов К.Я. и др. Программы и тезисы докладов XXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. "Наука", Л., 1972, с.132.
3. Goudsmit P.F.A. et al. Nucl.Phys., 1972, A196, p.362.
4. Abdurazakov A.A. et al. JINR, E6-8008, Dubna, 1974; Czech.J.Phys., 1975, B25, p.626.
5. Ekstrom G., Olsmats M., Wannberg B. Nucl.Phys., 1971, A170, p.649.
6. Адам И. и др. Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1980, с.118.
7. Аликов Б.А. и др. Программа и тезисы докладов XXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. "Наука", Л., 1975, с.123.
8. Андрейчев В. и др. ОИЯИ, Р6-10577, Дубна, 1977.
9. Музиоль Г. и др. ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
10. Beyer G.-J., Novgorodov A.F., Khaikin V.A. Radiokhimiya, 1978, 20, p.589.
11. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-4363, Дубна, 1969.
12. Хан Хе Мо и др. Радиохимия, 1980, 6, с.851.
13. Beyer G.-J., Herrmann E. Radiochem. Radioanal.Lett., 1974, 20, p.41.
14. De Boer F.W.N. et al. Nucl.Phys., 1974, A236, p.349.
15. Вылов Ц., Осипенко Б.П., Чумин В.Г. ЭЧАЯ, 1978, 9, с.1350.
16. Исламов Т.А. и др. ОИЯИ, Р10-12794, Дубна, 1979.
17. Rosel F. et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1978, 21.
18. Кузнецов В.В. и др. ОИЯИ, Р13-12810, Дубна, 1979; В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1980, 10, с.269.
19. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, Р13-10611, Дубна, 1977; В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1978, 8, с.59.
20. Будзяк А.В. и др. ОИЯИ, Р6-80-668, Дубна, 1980.
21. Гонусек М. и др. ОИЯИ, Р13-12422, Дубна, 1979.
22. Гонс З. ОИЯИ, 10-11973, Дубна, 1978.
23. Lederer C.M. et al. Table of Isotopes. New York, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 июля 1981 года.