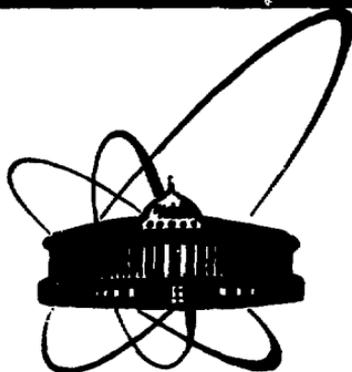


57622/108



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P6-80-120

И.Адам, Р.Д.Бабаджанов, З.Гонс, М.Гонусек,
К.Я.Громов, Т.А.Исламов, В.Г.Калинников,
В.В.Кузнецов, Г.Лизурей, Т.М.Муминов,
А.Ф.Новгородов, Ф.Пражак, Р.Р.Усманов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА

^{165}Lu ($T_{1/2} = 11,8$ мин)

1980

Адам И. и др.

Исследование распада ^{165}Lu ($T_{1/2} = 11,8$ мин)

Исследовался распад ^{165}Lu ($T_{1/2} = 11,8$ мин). Нейтронодефицитные изотопы лютеция получались в реакциях глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ. Измерялись спектры γ -лучей с помощью спектрометров с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами, спектры электронов внутренней конверсии - с помощью безжелезного бета-спектрометра при разрешении $\Delta H/H = 0,5\%$ и светосиле $T = 10\%$ и бета-спектрографа $\Delta H/H = 0,07\%$.

Обнаружено 125 γ -переходов, определены мультипольности для 17 переходов. Исследовались спектры совпадений γ -лучей с электронами внутренней конверсии L39,2, K80,4, K86,7, K87,5, K120,6, K174,2 и K203,7 ^{165}Lu . На установке с двумя $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами были проведены измерения спектров $\gamma\gamma$ -совпадений. На основе анализа спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии и спектров совпадений предложена схема распада $^{165}\text{Lu} \rightarrow ^{165}\text{Yb}$, включающая 26 возбужденных состояний ^{165}Yb .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Adam I. et al.

Study of the ^{165}Lu Decay ($T_{1/2} = 11,8$ min)

The decay of ^{165}Lu ($T_{1/2} = 11.8$ min) has been investigated. Neutron-deficient Lu isotopes were produced by the spallation reaction induced with 660 MeV at a tantalum. γ -ray spectra were measured by means of spectrometers with $\text{Ge}(\text{Li})$ detectors, spectra of internal conversion electrons using an iron-free beta-spectrometer with $\Delta H/H = 0.5\%$ resolution and luminosity $T = 10\%$ and a beta-spectrograph $\Delta H/H = 0.07\%$. 125 γ -ray transitions are observed, the multipolities of 17 γ -transitions are found.

Spectra of γ -ray coincidences internal conversion electrons of L 39.2, K80.4, K86.7, K87.5, K120.6, K174.2 and K203.7 ^{165}Lu are investigated. Spectra of $\gamma\gamma$ -coincidences were measured on a setup with two $\text{Ge}(\text{Li})$ -detectors. The decay scheme of $^{165}\text{Lu} \rightarrow ^{165}\text{Yb}$ is proposed involving 26 excited states in ^{165}Yb on the basis of analysis of spectra of γ -rays, internal conversion electrons and coincidence spectra.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1980

1. ВВЕДЕНИЕ

Изотоп ^{165}Lu был обнаружен в 1973 году Майером и др.^{/1/} в ядерных реакциях $^{169}\text{Tm}(^3\text{He}, 7\text{п}\gamma)^{165}\text{Lu}$ при облучении мишеней ^{169}Tm ионами ^3He с энергией 80 МэВ. По спаду интенсивности наблюдаемых 54 гамма-переходов в спектре гамма-лучей определен период полураспада ^{165}Lu : $T_{1/2} = 11,8(5)$ мин. Дополнительным аргументом при обнаружении изотопа ^{165}Lu явилось наблюдение в исследуемых спектрах гамма-лучей ^{165}Yb , интенсивность которых нарастала в начале измерений и затем спадала с $T_{1/2} = 11,8$ мин.

Позднее Экстремом и др.^{/2/} был определен спин $J = 1/2$ основного состояния ^{165}Lu методом магнитного резонанса атомного пучка. Основное состояние ^{165}Lu ими идентифицировано как $1/2^+/411/$. В 1976 году Экстремом и др.^{/3/} на основе проведенных расчетов значений энергий одночастичных состояний изотопов лютеция с $A = 161 \div 181$ и сравнения их с экспериментальными данными основному состоянию ^{165}Lu приписаны наиболее вероятные квантовые характеристики $1/2^+/411/$, хотя не исключаются и характеристики $1/2^-/541/$ - согласно схеме Нильссона. Возбужденные состояния ^{165}Yb изучались в реакциях $^{169}\text{Tm}(p, 5\text{п}\gamma)^{165}\text{Yb}$ Ишихарой и др.^{/4/}. Ими был предложен фрагмент схемы нижних уровней ротационных полос $5/2^-/523/$ вплоть до $J^\pi = 11/2^-$ и $3/2^-/521/$ (до $J^\pi = 7/2^-$). Ридингер и др.^{/5/} в реакциях $^{148}\text{Nd}(^{22}\text{Ne}, 5\text{п}\gamma)^{165}\text{Yb}$ и $^{150}\text{Gd}(^{12}\text{C}, 3\text{п}\gamma)^{165}\text{Yb}$ наблюдали уровни ротационной полосы $3/2^-/521/$ вплоть до $J^\pi = 45/2^-$ и сильно смешанные уровни полосы состояния $i_{13/2}$ вплоть до $J^\pi = 41/2^+$. Рихтер и др.^{/6/} методом e^-e^- и $e^- \gamma$ -совпадений при исследовании реакций $^{152}\text{Sm}(^{18}\text{O}, 5\text{п}\gamma)^{165}\text{Yb}$ и $^{154}\text{Sm}(^{18}\text{O}, 5\text{п}\gamma)^{165}\text{Yb}$ уточнили данные работы^{/5/} о нижних возбужденных состояниях ^{165}Yb и подтвердили результаты работы^{/4/}. В^{/6/} были определены уровни ротационной полосы состояния $5/2^-/523/$ вплоть до $45/2^-$, нижние уровни которой авторами^{/5/} идентифицировались как члены ротационной полосы $3/2^-/521/$, а ротационная полоса сильно смешанных состояний была установлена вплоть до $J^\pi = 45/2^+$.

В работе Бармена и др.^{/7/} при исследовании распада ^{165}Lu введены возбужденные состояния ^{165}Yb с энергиями 87,4; 120,2; 252,2; 425,9; 455,2; 613,2 и 642,5 кэВ.

В настоящей работе проведены исследования спектров электронов внутренней конверсии /ЭВК/, γ -лучей, $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -совпадений при распаде ^{165}Lu . На основе полученных результатов предлагается схема распада $^{165}\text{Lu} \rightarrow ^{165}\text{Yb}$.

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Приготовление радиоактивных источников

Нейтрондефицитные изотопы лютеция получались в реакциях глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ. Мишени из тантала в виде металлической фольги толщиной 50 мкм и весом 0,5 г облучались в течение 15 мин на выведенном пучке протонов (~0,1 мкА) синхроциклотрона Объединенного института ядерных исследований. После облучения мишени доставлялись пневмопочтой к ионному источнику электромагнитного масс-сепаратора ^{8,9}, при помощи которого проводилось разделение продуктов ядерных реакций, образовавшихся в мишени, по изобарам. Для разделения изобар была использована термическая десорбция редкоземельных элементов ¹⁰, имплантируемых в нагретый коллектор. Метод "горячего коллектора" позволил получать при нагревании до 1400°C помещенной на коллектор масс-сепаратора танталовой фольги толщиной 5-15 мкм изобару с $A = 165$, обогащенную изотопом ¹⁸⁵Lu. Отношение выхода изотопа лютеция к выходу изотопа иттербия возрастало в случае использования "горячего коллектора" в 10 раз. Измерения спектров γ -лучей и $\gamma\gamma$ -совпадений начинались спустя 5 минут, а спектров ЭВК и $e\gamma$ -совпадений при помощи бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем - спустя 10 минут после конца облучения мишеней.

Источники для измерения ЭВК при помощи бета-спектрографов готовились после химического ¹¹ выделения лютеция из мишени тантала, облученной на внутреннем пучке протонов ($J_p = \approx 2,3$ мкА) с энергией 660 МэВ, электролитическим осаждением лютеция на платиновую проволоку диаметром 50 мкм. В этом случае измерения ЭВК начинались спустя ~1 час после конца облучения.

2.2. Исследование спектров γ -лучей

Спектры γ -лучей измерялись при помощи спектрометров с Ge(Li) -детекторами с чувствительным объемом $V = 0,5$ см³ ($\Delta E = \approx 0,8$ кэВ при $E_\gamma = 122$ кэВ ⁵⁷Co) и $V = 41$ см³ ($\Delta E = 2,4$ кэВ при $E_\gamma = 1332$ кэВ ⁶⁰Co). Регистрация спектров γ -лучей производилась при помощи многоканального амплитудного анализатора АИ-4096. Обработка спектров γ -лучей проводилась на ЭВМ HP-2116С.

На рис. 1 и 2 показаны спектры γ -лучей, измеренные на спектрометрах с использованием Ge(Li)-детекторов с $V = 0,5$ см³ и $V = 41$ см³ соответственно. Энергии γ -лучей определялись при обработке одновременно измеренных спектров исследуемого изотопа и калибровочных источников ¹² ^{110m}Ag, ¹³³Ba, ¹⁵²Eu, ¹⁸²Ta и ²⁴¹Am. Кривые эффективности регистрации γ -излучения детекторами получены с точностью не хуже 5% с использованием калибровочных стандартных источников.

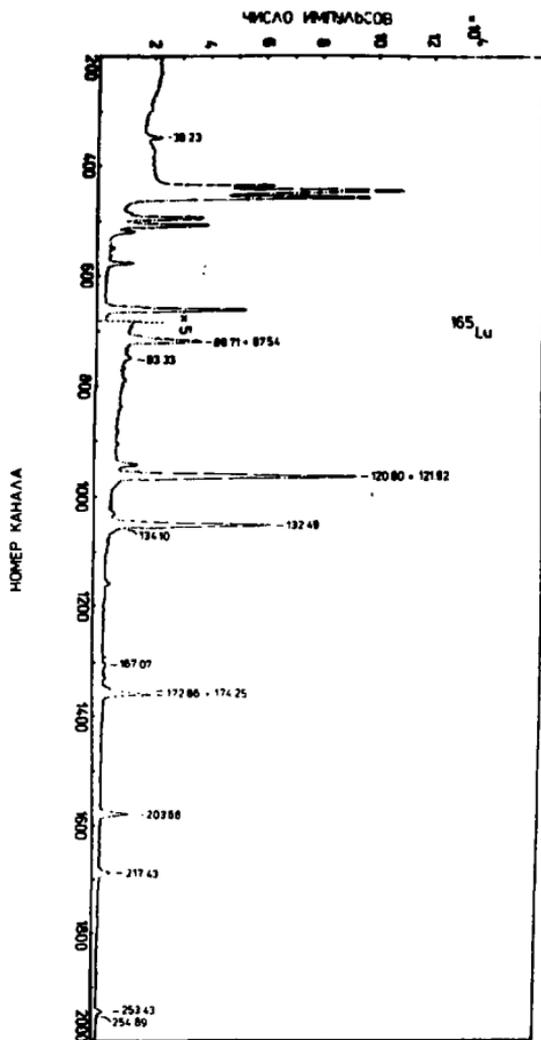


Рис.1. Низкоэнергетическая часть спектра γ -лучей ^{165}Lu , измеренная на спектрометре с Ge(Li)-детектором объемом 0,5 см³.

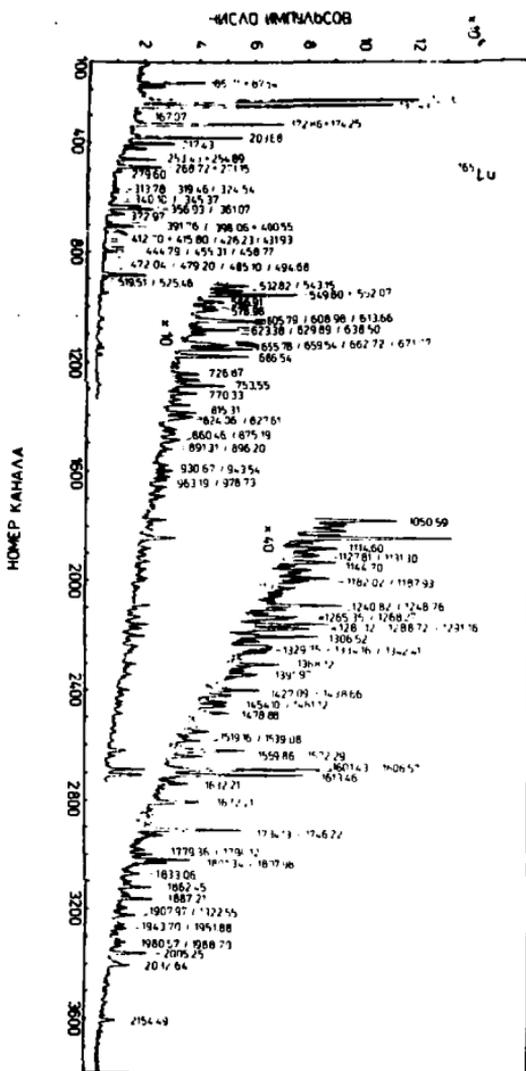


Рис.2. Спектр γ -лучей ^{165}Lu , измеренный на спектрометре с Ge(Li) -детектором объемом 41 см^3 .

В изучаемых спектрах изобары $A = 165$ в основном наблюдались γ -лучи ^{165}Lu , а также γ -лучи дочерних изотопов ^{165}Yb ($T_{1/2} = 9,8$ мин)^{/13/}, ^{165}Tm ($T_{1/2} = 30$ час)^{/14/}. Гамма-излучение ^{165}Lu идентифицировалось по спаду интенсивности. Экспериментальные данные об энергиях и относительных интенсивностях наблюдаемых γ -лучей ^{165}Lu приведены в табл.1.

Обнаружено 125 переходов, из них 75 - впервые. Значения энергии и относительных интенсивностей γ -лучей ^{165}Lu уточнены по сравнению с данными работы^{/1/}, а переходы с энергией 127,52; 443,0; 1029,93 и 1073,35 кэВ нами не обнаружены.

2.3. Исследование спектров электронов внутренней конверсии

Спектры ЭВК исследовались как с помощью безжелезного бета-спектрометра^{/15/} при $\Delta H_p/H_p = 0,5\%$ и светосиле $T = 10\%$, так и с помощью бета-спектрографа^{/16/}. В табл.2 приведены результаты анализа спектров ЭВК. Регистрация ЭВК при использовании бета-спектрографа производилась на фотопластинках НИКФИ-50. Погрешности определения относительных интенсивностей по плотности почернения на фотопластинках составляли 20% для сильных ($I_e > 5$) и примерно 50% ($I_e \leq 5$) для слабых по интенсивности ЭВК. Мультипольности для ряда γ -переходов определялись исходя из соотношений K/L_I , L_I/L_{II} , L_{II}/L_{III} , M_I/M_{II} , наблюдаемых в эксперименте, и из сравнения их с соответствующими соотношениями теоретических значений коэффициентов внутренней конверсии^{/17/}.

Определенное значение коэффициента внутренней конверсии для перехода с энергией 120,60 кэВ ($M_1 + \leq 3\% E_2$) было использовано для связи шкал относительных интенсивностей γ -лучей и ЭВК.

2.4. Исследование спектров $\gamma\gamma$ -совпадений

Спектры $\gamma\gamma$ -совпадений измерялись на установке^{/18/}, созданной на базе безжелезного бета-спектрометра^{/15/} и спектрометра с Ge(Li) -детектором с $V = 35$ см³ ($\Delta E_\gamma = 3,5$ кэВ при $E_\gamma = 1332$ кэВ ^{60}Co). Временное разрешение установки составляло 5×10^{-8} с.

Проведены измерения спектров совпадений γ -лучей с ЭВК: L 39,23; K 80,4; K 86,71; K 87,54; K 120,60; K 174,25 и K 203,68, часть из этих спектров показана на рис.3. Результаты анализа спектров $\gamma\gamma$ -совпадений приведены в табл.3.

2.5. Исследование спектров $\gamma\gamma$ -совпадений

Для исследования спектров $\gamma\gamma$ -совпадений использована установка^{/19/} с двумя Ge(Li) -детекторами с $V = 41$ см³ и $V = 47$ см³ и разрешением 2,5 кэВ при $E_\gamma = 661$ кэВ ^{137}Cs . Разрешающее время схемы совпадений составляло 5×10^{-8} с.

Таблица 1. Значения энергий и относительных интенсивностей γ -лучей при распаде ^{165}Lu

$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$, кэВ	$J_{\gamma}(\Delta J_{\gamma})$	$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$, кэВ	$J_{\gamma}(\Delta J_{\gamma})$	$E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$, кэВ	$J_{\gamma}(\Delta J_{\gamma})$
39,23(8)	357(30)	458,77(12)	124(6)	943,54(15)	36(4)
86,71(6)	54(6)	472,04(17)	25(4)	963,19(19)	27(4)
87,54(6)	230(16)	479,20(16)	16(4)	978,73(26)	23(5)
93,33(8)	14,3	485,10(27)	9(3)	1050,59(17)	47(5)
120,60(6)	1000(60)	494,68(18)	16(2)	1114,60(33)	17(5)
121,92(10)	42(7)	519,51(15)	57(5)	1127,81(52)	8(3)
132,49(6)	1000(60)	525,46(25)	18(4)	1131,30(43)	16(3)
134,10(16)	46(10)	532,82(15)	43(4)	1144,70(18)	31(3)
167,07(10)	25(4)	543,95(15)	32(3)	1182,02(23)	34(4)
172,86(8)	65(7)	549,80(20)	43(7)	1187,93(20)	27(3)
174,25(6)	470(25)	552,07(12)	98(8)	1240,82(16)	47(4)
203,68(6)	380(25)	566,91(12)	25(2)	1248,76(21)	21(3)
217,43(6)	200(15)	578,68(15)	21(3)	1265,36(40)	18(6)
253,43(7)	162(15)	605,79(14)	40(4)	1268,27(43)	17(6)
254,89(11)	40(7)	608,98(10)	86(5)	1281,12(17)	56(4)
268,72(11)	60(7)	612,66(33)	10(3)	1288,72(40)	35(12)
271,15(10)	198(10)	623,38(23)	13(3)	1291,16(74)	18(8)
279,82(10)	35(6)	629,89(10)	69(4)	1306,52(18)	57(4)
313,78(12)	30(5)	638,50(16)	29(3)	1329,75(21)	29(6)
319,46(10)	42(6)	655,78(28)	8(3)	1334,99(28)	23(4)
324,54(11)	34(6)	659,54(15)	44(6)	1342,41(31)	20(4)
340,10(25)	18(4)	662,72(11)	66(4)	1368,12(21)	31(4)
345,37(18)	17(4)	671,07(10)	107(5)	1391,97(23)	27(4)
356,93(10)	199(8)	686,54(10)	103(5)	1427,09(17)	44(4)
361,07(10)	293(12)	726,87(11)	39(3)	1438,66(37)	13(4)
372,97(10)	128(6)	753,55(11)	70(5)	1454,10(23)	21(3)
391,76(10)	35(5)	770,33(14)	40(5)	1461,12(33)	20(4)
398,06(24)	21(4)	815,31(14)	55(4)	1478,88(22)	23(3)
400,55(10)	200(8)	824,06(15)	44(4)	1519,16(21)	23(3)
412,70(21)	17(3)	827,61(25)	23(3)	1539,08(22)	17(2)
415,80(17)	17(4)	860,46(30)	17(3)	1559,86(15)	72(4)
426,23(18)	16(3)	875,19(15)	38(3)	1572,29(18)	27(3)
431,93(25)	10(2)	891,31(27)	10(2)	1601,43(13)	164(7)
444,79(16)	13(2)	896,20(17)	21(3)	1606,57(28)	23(3)
455,31(16)	25(3)	930,67(25)	20(4)	1613,46(13)	151(7)
1632,21(21)	27(3)	1807,98(24)	36(4)	1951,88(36)	14(2)
1672,21(23)	48(6)	1833,06(25)	21(2)	1980,57(38)	17(3)
1734,13(16)	116(8)	1862,45(25)	35(4)	1988,70(48)	10(2)
1746,22(27)	22(3)	1887,21(28)	38(4)	2005,25(32)	52(6)
1779,36(34)	13(3)	1907,97(47)	10(2)	2032,64(38)	26(4)
1790,12(27)	18(3)	1922,55(30)	26(3)	2154,49(50)	18(3)
1801,34(20)	69(6)	1943,70(37)	13(2)		

Таблица 2. Относительные интенсивности электронов внутренней конверсии переходов, возникающих при распаде ^{165}Lu

E_{γ} , кэВ	I_e^*	I_e^{**}	Мульти- польн.	E_{γ} , кэВ	I_e^*	I_e^{**}	Мульти- польн.	
39,23	L_1 8		E1	203,68	K 18	13,8		
	M_1 2				L_1 2		M1	
53,6	ΣL	15,0			L_{II} 0,3			
80,4	K	13,6		217,43	K ≥ 2	5,9	M1, E2	
86,71	K 20	17,6	M1	253,43	K 1,5	5	M1, E2	
	L_1 3			271,15	K $\geq 1,2$	4,5	M1, E2	
87,54	K 30	30		279,82	K -	0,8	M1, E2	
	L_1 3			324,54	K 0,2	0,5	E2	
	L_{II} 30	} < 75	E2 + < 15% M1	356,93	K 0,6	0,8	E2	
	L_{III} 30			361,07	K 1,5	1,7	E2, M1	
	M_{II} 7			372,97	K -	0,2	E1	
	M_{III} 7			400,55	K -	0,5	E2	
120,60	K 156	158						
	L_1 22							
	L_{II} 3	} < 40	M1 + < 3% E2					
	L_{III} 0,9							
	M_1 5			8				
132,49	K 12	10	E1					
172,86	K 2,5		M1, E2					
174,25	K 22	< 28						
	L_1 2,5							
	L_{II} 0,5	} 3,6	M1 + < 15% E2					
	L_{III}							

Примечание: Погрешности в определении относительных интенсивностей составляют $\leq 20\%$ для сильных ($I_e > 5$) и $\sim 50\%$ для слабых ($I_e \leq 5$) по интенсивности ЭКК; ЭКК, измеренные при помощи бета-спектрографа (ж) и безмагнитного бета-спектрометра с торoidalным магнитным полем (зм).

Таблица 3. Результаты анализа спектров γ -совпадений при распаде ^{185}Lu

$E_{\text{перех.}}$ (E_{γ}), кэВ	$E_{\text{совп.}}$ кэВ	$\text{СХ}(\times 100)$ α эксп.	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$ эксп.	$I_{\gamma\gamma}$ расч. ($\Delta I_{\gamma\gamma}$)
1	2	3	4	5
887,54 (87,54)	39,23 86,71 167,07 172,86 217,43 253,43 313,78 340,10 638,50	+ 99(10) 113(15) 44(6) ^ж 32(6) ^ж 26(8) ^ж 92(10) 90(15) +	+ 53(6) 28(4) - - - 39(6) 16(4) +	- 54(6) 25(4) - - - 30(5) 18(4) -
120,60 (120,60)	134,10 203,68 217,43 253,43 271,15 279,82 319,46 372,97 543,95 552,07 605,79 662,72	+ 92(5) ^ж 28(5) ^ж 27(8) ^ж 107(8) 110(11) + 96(7) < 135 + + 116(20)	+ - - - 212(16) 39(6) + 123(9) < 43 + + 77(13)	- - - - 198(10) 35(6) - 128(6) 32(3) - - 66(11)
886,71 886,71 (174,23)	80 87,54 217,43 253,43 319,46 552,07 608,98	+ 91(14) 109(10) 102(10) 109(15) + +	+ 210(32) 218(20) 165(16) 46(6) + +	- 230(16) 210(20) 162(15) 42(6) - -

Таблица 3 /продолжение/

I	2	3	4	5
K174,23 (I74,23)	172,86 [±] 217,43 253,43 319,46 552,07 608,98	43(8) 95(8) 102(10) 109(15) + +	+ 190(16) 165(17) 46(7) + +	- 200(15) 162(15) 42(6) - -
39,23 (126,74)	87,54 356,93 [±] 361,07 [±] 400,55 [±]	+ 100(15) 28(10) +	+ 200(30) 82(8) +	- 200(20) 120
K80,36 (254,64)	120,6 172,86 174,25	+ 105(15) 95(10)	+ 68(10) 447(45)	- 65(7) 470(25)
K203,68 (324,44)	120,6 345,37 623,38	+ + +	+ + +	- - -

Примечание: Знаком "+" отмечены наблюдаемые совпадения, количественная оценка которых не проведена из-за малой статистики;

[±] по значениям $\sigma_{\text{эксп}} = \frac{S_{e\gamma}}{S_{\gamma}}$ определены относительные главные интенсивности γ - переходов с энергиями 53,55 кэВ.

I полн. = 400(50) и 80,4 кэВ. I полн. = 100(15).

[±] γ - лучи, наблюдаемые в спектрах задержанных $e\gamma$ -совпадений.

Таблица 4. Результаты анализа спектров $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде ^{165}Lu .

$E_{\gamma 1}$, ($E_{\gamma p}$), кэВ	$E_{\gamma 2}$, кэВ	$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$	$I_{\gamma\gamma}$ расч. ($\Delta I_{\gamma\gamma}$)
1	2	3	4
120,60	203,68	364(22)	380(25)
(120,69)	271,15	217(20)	198(10)
	279,82	26(9)	35(6)
	372,97	124(15)	128(6)
	543,95	30(10)	32(3)
	552,07	64(16)	42(15)
	605,79	48(19)	40(4)
	662,72	56(19)	66(4)
	686,54	107(18)	103(5)
	753,55	55(20)	70(5)
	1613,46	144(28)	151(7)
	1734,13	76(11)	58(10)
	1801,34	79(18)	63(18)
132,49	356,93	150(15)	200(8) ^{***}
(132,55)	361,07	293(20)	293(12)
	400,55	187(22)	200(8)
	458,77	120(16)	124(6) ^{***}
	519,51	41(13)	36(7)
	629,89	63(17)	69(4)
	815,31	65(17)	55(4)
	1601,43	210(40)	164(7)
174,25	172,86	21(7)	25(8)
(174,23)	217,43	209(16)	200(15)
	253,43	150(20)	162(15)
	319,46	40(10)	42(6)
	552,07	52(25)	98(8)
	608,98	81(20)	86(5)
	1559,86	70(15)	72(4)
	1734,13	77(15)	60(8)

Таблица 4 /продолжение/

1	2	3	4
203,68 (324,44)	345,37 458,77 549,80 1801,34	I8(6) I9(6) 40(I4) 7I(30)	I7(4) II 8 43(7) 69(6)
2I7,43 27I,I5 (39I,69)	I734,I3 I734,I3	III(30) II5(I6)	II6(8) II6(8)
I72,86 253,43 (427,60)	I29I,I6 I306,52	8(3) 34(20)	I8(8) 57(4)
36I,07 (493,57)	268,72 455,3I 5I9,5I	74(20) 39(I0) 67(25)	60(7) 25(3) 57(5)
372,97 (493,57)	268,72 455,3I 5I9,5I	64(I0) 23(I0) 43(I6)	60(7) 25(3) 57(5)
356,93 ^{III} (59I,30)	458,77	38(I5)	I24(66)

Примечание: Знаком "III" отмечены переходы, имеющие двойное расположение в схеме распада. Нормировочный коэффициент выбран по совпадению γ I32,49 - γ 36I,07.

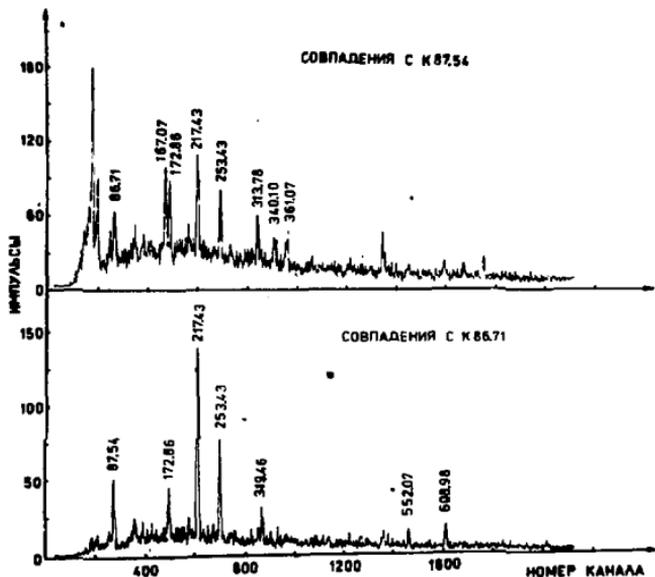


Рис. 3. Спектр $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде $^{165}\text{Lu} \rightarrow ^{165}\text{Yb}$.

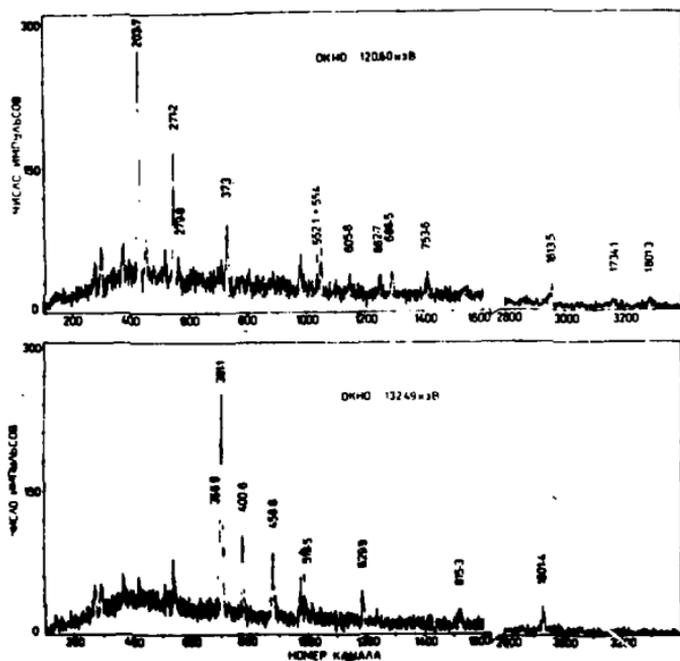


Рис. 4. Спектр $\gamma\gamma$ -совпадений $^{165}\text{Lu} \rightarrow ^{165}\text{Yb}$.

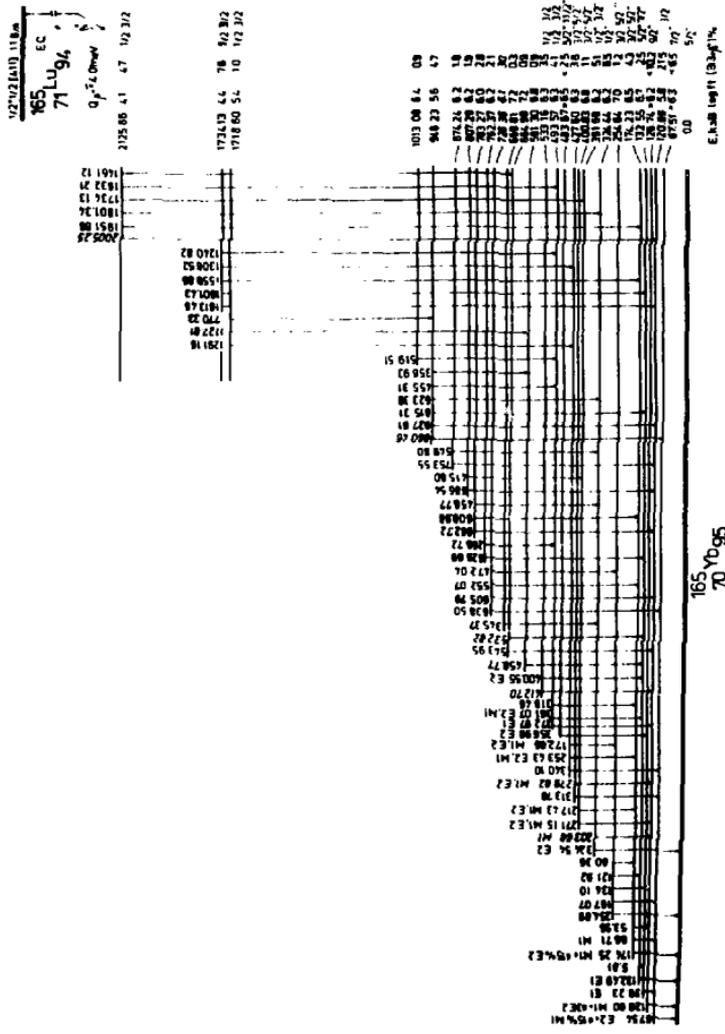
Трехмерные спектры совпадений записывались на магнитную ленту и обрабатывались на ЭВМ HP-2116C. На рис. 4 показаны в качестве примера спектры совпадений γ -лучей с γ -лучами переходов 120,60 и 132,49 кэВ. Результаты обработки спектров $\gamma\gamma$ -совпадений представлены в табл. 4.

3. СХЕМА РАСПАДА

На основе анализа спектров γ -лучей, ЭВК, $\gamma\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадений предлагается схема распада $^{185}\text{Lu} \rightarrow ^{185}\text{Yb}$ /рис. 5/. Состояние 87,51 кэВ $7/2^-$ ^{185}Yb ранее установлено в ядерных реакциях ^{6/} и интерпретировано как ротационный уровень полосы основного состояния $5/2^-/523/$. Определенная нами мультипольность перехода с энергией 87,54 кэВ - $E2 + \leq 15\% M1$ не противоречит данному выводу. Переход с энергией 120,60 кэВ наиболее интенсивный в спектре излучения ^{185}Lu и определяет возбужденный уровень с энергией 120,69 кэВ ($3/2^-$). Наблюдение совпадений $L_{39,23} \gamma_{87,54}$ и $K_{87,54} \gamma_{39,23}$ указывает на то, что существует уровень с энергией 126,74 кэВ, $9/2^+$. В работах ^{5,8/} при исследовании ядерных реакций этот уровень интерпретирован как головное состояние аномальной ротационной полосы, образованной сильным кориолисовым смешиванием состояний подолочки 113/2. Установленная нами мультипольность $E1$ -перехода 39,23 кэВ и измеренное ранее ^{20/} время жизни $T_{1/2} = 350(50) \times 10^{-8}$ с с уровня с энергией 126,74 кэВ подтверждает данную интерпретацию. При измерении задержанных ($L_{39,23} \gamma$) совпадений наблюдаются совпадения с $\gamma_{356,93}$; $\gamma_{361,07}$ и $\gamma_{400,55}$ кэВ. Анализ спектра ($L_{39,23} \gamma$) совпадений показал, что переход 356,93 кэВ находится в прямом каскаде с $\gamma_{39,23}$, а остальные γ -лучи переходов ослаблены примерно в два раза и, по-видимому, связаны с заселением состояния 132,49 кэВ ($5/2^+$, $7/2^+$), разряжаемого переходом 5,72 кэВ на уровень 126,74 кэВ. Уровень 132,55 кэВ хорошо подтверждается ($\gamma_{132,55} \gamma$) -совпадениями. На основе наблюдаемых совпадений ($K_{87,54} \gamma_{86,71}$) и ($K_{86,71} \gamma_{87,54}$) следует ввести уровень 174,23 кэВ ($3/2^-$, $5/2^-$), разряжаемый также прямым переходом в основное состояние ^{185}Yb .

В спектре ($K_{120,6} \gamma$)-совпадений проявляются ослабленные по интенсивности переходы $\gamma_{217,43}$; $\gamma_{253,43}$; $\gamma_{319,46}$ и $\gamma_{552,07}$ кэВ, находящиеся в прямых каскадах с переходом 174,25 кэВ и подтвержденные ($K_{174,25} \gamma$)-совпадениями. Это указывает на то, что уровень 174,23 кэВ разряжается на уровень 120,69 кэВ переходом 53,55 кэВ.

Уровень 254,64 кэВ ($3/2 \div 7/2$) вводится на основе наблюдения ($K_{88,55} \gamma_{167,07}$)-совпадений. Кроме того, наблюдаются "хоро-



шие¹¹ совпадения $\gamma_{174,25}$ и $\gamma_{172,86}$ кэВ с $K_{80,4}$ кэВ. Надежность эксперимента по изучению совпадений ($K_{80,4}\gamma$) достигнута за счет того, что в спектрах изобары с $A = 165$ мешающий переход $80,1$ кэВ ^{165}Yb расположен между двумя изомерными состояниями $^{165}\text{Tm}^{1/2^-}$, с $T_{1/2} = 9,0 \times 10^{-6}$ с и $T_{1/2} = 80 \times 10^{-6}$ с. При исследовании спектра γ -лучей изобарного источника с $A = 165$ весьма сложно обнаружить γ -лучи перехода $80,4$ кэВ ^{165}Yb . Однако в нашем случае при исследовании спектров ЭВК на безжелезном бета-спектрометре удалось обнаружить линию $K_{80,4}$ ^{165}Lu , близкую к $K_{80,1}$ ^{165}Yb . Они разделяются друг от друга из-за различных энергий связи на K -оболочках материнского и дочернего ядер. Так как мультипольности переходов, разряжающих уровень $254,64$ кэВ, не установлены, то трудно приписать ему однозначные значения спина и четности. На основе совпадений ($K_{120,6}\gamma_{203,68}$), ($K_{203,68}\gamma_{120,6}$) и ($\gamma_{120,6}\gamma_{203,68}$) надежно вводится уровень $324,44$ кэВ, $1/2^-$.

Уровень $391,69$ кэВ ($1/2^-$, $3/2^-$) вводится на основе ($K_{120,6}\gamma_{271,15}$), ($K_{174,25}\gamma_{217,43}$), ($\gamma_{120,6}\gamma_{271,15}$) и ($\gamma_{174,25}\gamma_{217,43}$) -совпадений. Наблюдаемые совпадения ($K_{80,4}\gamma_{172,86}$), ($K_{174,25}\gamma_{253,43}$), ($K_{86,71}\gamma_{253,43}$) и ($\gamma_{174,25}\gamma_{253,43}$) позволяют ввести уровень $427,6$ кэВ ($3/2^-$, $5/2^-$), а ($K_{120,6}\gamma_{271,15}$), ($K_{174,25}\gamma_{217,43}$), ($\gamma_{120,6}\gamma_{271,15}$) и ($\gamma_{174,25}\gamma_{217,43}$) - уровень $400,83$ кэВ ($3/2^-$, $5/2^-$).

Задержанные ($L_{39,23}\gamma_{356,93}$)-совпадения разрешают ввести состояние с энергией $483,67$ кэВ ($5/2^+$, $11/2^+$). Необходимо отметить, что наблюдаемые совпадения ($\gamma_{458,77}\gamma_{356,93}$) указывают на дуплетный состав фотопика $\gamma_{356,9}$ кэВ. В связи с этим переход $356,93$ кэВ размещается в схеме распада в двух местах.

Уровень $493,57$ кэВ ($1/2^+ \div 5/2^+$) вводится на основе ($K_{120,6}\gamma_{372,97}$), ($K_{174,23}\gamma_{319,46}$), ($\gamma_{120,6}\gamma_{372,97}$), ($\gamma_{132,49}\gamma_{361,07}$) и ($\gamma_{174,23}\gamma_{319,46}$) -совпадений. ($\gamma_{132,49}\gamma_{400,55}$) -совпадения позволяют ввести уровень с энергией $533,16$ кэВ ($1/2^+ \div 5/2^+$), ($\gamma_{132,49}\gamma_{458,77}$) - $591,30$ кэВ, ($K_{120,6}\gamma_{543,95}$) - $664,98$ кэВ, ($K_{203,68}\gamma_{345,37}$) и ($\gamma_{203,68}\gamma_{345,37}$) - $669,81$ кэВ, а ($K_{87,54}\gamma_{38,5}$), ($K_{120,6}\gamma_{605,79}$), ($K_{174,25}\gamma_{552,07}$), ($K_{86,71}\gamma_{552,07}$), ($\gamma_{120,6}\gamma_{605,79}$) и ($\gamma_{174,25}\gamma_{552,07}$) - $726,36$ кэВ. Остальные уровни введены на основании анализа спектров $\gamma\gamma$ -совпадений.

Значения $\log ft$ определены в предположении, что интенсивность γ -переходов в основное состояние ^{165}Yb /рис.5/ составляет 100% распадов ^{165}Lu и разность масс $Q_{\beta^+} \approx 4,0$ МэВ^{21/}. Следует обратить внимание на то, что возбужденные состояния с энергиями $1734,13$ кэВ ($\log ft = 4,4$) и $2125,86$ кэВ ($\log ft = 4,1$) заселяются путем бета-распада со сравнительно низкими значениями $\log ft$. По-видимому, эти уровни являются членами трехквартичного мультиплета $\pi/523/\uparrow$, $\pi/411/\downarrow$, $\nu/523/\downarrow$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mejer B.J., de Boer F.W.N., Goudsmit P.F.A. *Radiochemica Acta*, 1973, 19, p.1950.
2. Ekström C. et al. *Phys.Scr.*, 1974, 10, p.301.
3. Ekström C. *Phys.Scr.*, 1976, 13, p.217.
4. Ishihara M. et al. *Ann. report INSU*, 1970, Tokyo, p.45.
5. Riedinger L.L. et al. *Phys.Rev. Letters*, 1974, 33, p.1346.
6. Richter L. et al. *Phys.Letters*, 1977, 71B, p.74.
7. Burman C., Sen P., Bakhru H. *Can.J.Phys.*, 1978, 56, p.786.
8. Musiol G., Raiko V.I., Tyrroff H. *JINR*, P6-4487, Dubna, 1969.
9. Latuszynski A. et al. *JINR*, E6-7780, Dubna, 1974.
10. Beyer G.J. et al. *Radiokhimiya*, 1978, 20, p.589.
11. Молнар Ф., Халкин В.А., Херрманн Э. *ЭЧАЯ*, 1975, 4, вып.4, с.1077.
12. Александров В.С. и др. *ОИЯИ*, P6-7308, Дубна, 1973.
13. Adam J. et al. *Czech.J.Phys.*, 1978, B28, p.865; *JINR*, E6-11299, Dubna, 1978.
14. Абдуразаков А.А. и др. *ОИЯИ*, P6-4889, Дубна, 1970.
15. Громов К.Я. и др. В сб. "Прикладная ядерная спектроскопия", Атомиздат, М., 1978, 8, с.59.
16. Абдуразаков А.А. и др. *ОИЯИ*, P6-4363, Дубна, 1969.
17. Hager R.S., Seltzer E.C. *CALT-63-60*, AEC report, California Institute of Technology Pasadena, California, 1967.
18. Кузнецов В.В. и др. *ОИЯИ*, P13-12810, Дубна, 1979.
19. Гонусек М. и др. *ОИЯИ*, P3-12422, Дубна, 1979.
20. Аликов Б.А. и др. Тезисы докладов XXIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1979, с.112.
21. Wapstra A.H., Bos K. *Atomic Data and Nucl. Data Tables*. 1977, 19, n.3, p.204.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 февраля 1980 года.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 27887. Тираж 435. Уч.-изд. листов 1,12.
Редактор Н.Н.Зрелова.
Набор Л.М.Кашехлебовой, Е.М.Граменицкой.
Макет В.А.Халякиной. Подписано к печати 31.3.80 г.