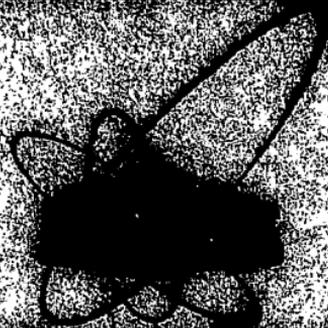


8111005193



ИСТИННОСТЬ
ИСТИННОСТЬ
ИСТИННОСТЬ
ИСТИННОСТЬ
ИСТИННОСТЬ

6-83-819

И.Адам, З.Гонс, К.И.Громов, Ф.Пражак, И.Яхья

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ^{164}Lu

($T_{1/2} = 3.12 \text{ года}$)

Исследования в области радиации на СЭР Сиб. УИИ

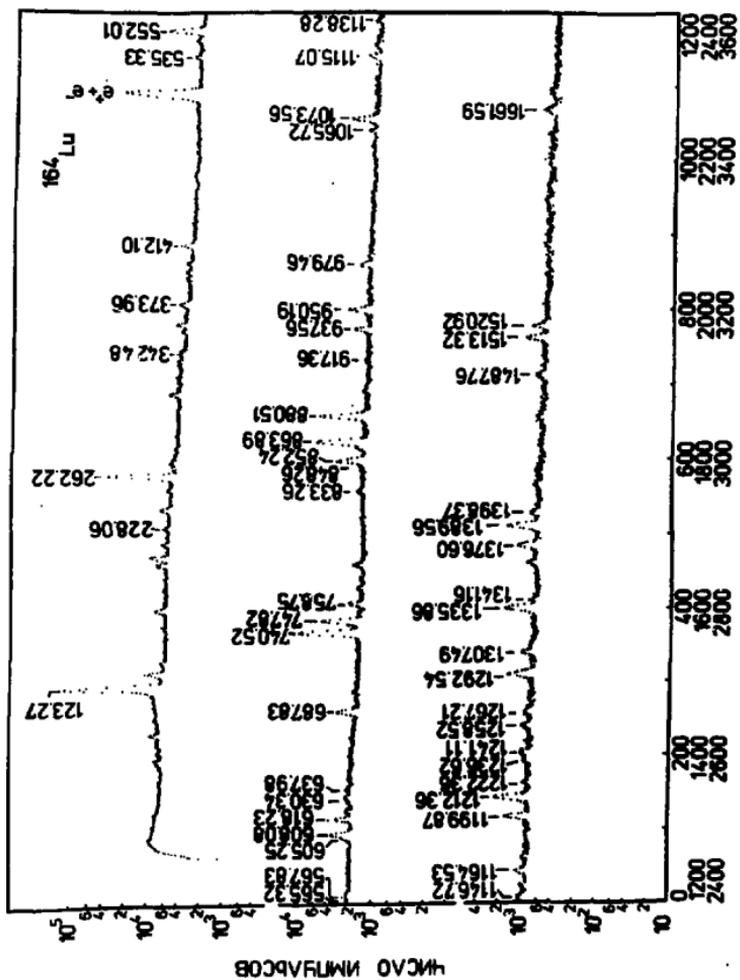
1. ВВЕДЕНИЕ

Первые экспериментальные данные о возбужденных состояниях ^{164}Yb были получены Ф.С. Стивенсом и др.^{1/} при изучении спектров электронов внутренней конверсии в реакции $^{160}\text{Tb}(^{11}\text{B}, \text{dne})^{164}\text{Yb}$. По отношениям интенсивностей К- и L-электронов определены мультипольности переходов, наблюдавшихся между уровнями ротационной полосы основного состояния /до $I^\pi = 14^+$ /. В работах Лидера и др.^{2,3/} исследование возбужденных состояний ^{164}Yb продолжено в реакции $^{168}\text{Er}(\alpha, \text{Sn})^{164}\text{Yb}$. Измерены $(\gamma-\gamma)$ -совпадения и угловое распределение γ -квантов, возникающих при разрядке уровней ротационной полосы основного состояния /вплоть до уровня с $I^\pi = 16^+$ /. Для верхних уровней ротационной полосы наблюдалось существенное понижение их энергий, то есть резкое увеличение момента инерции ядра /"бэк-бендинг" - эффект/. Б.Бочев и др.^{4,5/} методом доплеровского смещения энергии γ -излучения ядер отдачи, образованных в реакции $^{128}\text{Te}(^{40}\text{Ar}, 4n)^{164}\text{Yb}$, измеряли времена жизни возбужденных уровней ротационной полосы основного состояния вплоть до уровня со спином 18.

Изотоп ^{164}Lu впервые наблюдался Нейманом и Вардом^{6/}, которые установили, что период полураспада равен 3,1 мин. Более полные данные о распаде ^{164}Lu приведены Хантером и др.^{7/}, которые получили его в реакции $^{155}\text{Gd}(^{14}\text{N}, 5n)$. Хантер и др.^{7/} не применяли никаких методов очистки ^{164}Lu от других продуктов ядерных реакций. Мы продолжили исследование спектров γ -лучей и $(\gamma-\gamma)$ -совпадений с использованием масс-сепаратора для очистки ^{164}Lu .

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Нейтрондефицитные изотопы лютеция были получены в реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ. Мишени в виде металлической фольги толщиной 50 мкм и весом 0,5 г облучались в течение 10 мин на выведенном пучке протонов синхротрона ОИЯИ. Интенсивность пучка - примерно 0,1 мкА. После облучения мишень транспортировалась пневмопочтой к электромагнитному масс-сепаратору^{8/}, с помощью которого проводилось разделение продуктов ядерных реакций по изобарам. Радиоактивные ионы изобары $A = 164$ внедрялись в помещенную на коллекторе масс-сепаратора танталовую фольгу, нагретую до температуры 1400°C /метод "горячего коллектора"^{9/}. Благодаря разной термической



НОМЕР КАНАЛА

Рис. 1. Спектр γ -лучей ^{164}Lu , измеренный при помощи $^{90}\text{Ce}(\text{Li})$ -детектора с чувствительным объемом 43 см³. Использовался фильтр из Cd толщиной 1,2 мм.

десорбции редкоземельных элементов достигалось значительное обогащение радиоактивных источников изотопом ^{164}Lu . Измерения спектров γ -лучей и $(\gamma-\gamma)$ -совпадений начинались через 5 ± 7 мин после конца облучения мишени. Было измерено 32 и 26 источников соответственно.

Спектры γ -лучей измерялись $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором с чувствительным объемом 43 см^3 ($\Delta E_{\gamma} = 2,8 \text{ кэВ}$ при $E_{\gamma} = 1332 \text{ кэВ}$). Использовался фильтр из Cd толщиной $1,2 \text{ мм}$. Спектры регистрировались многоканальным амплитудным анализатором АИ-4096, после чего обрабатывались на ЭВМ HP-2116С.

Спектр γ -лучей ^{164}Lu , полученный в результате суммирования 32 отдельных спектров, представлен на рис.1. Каждый из спектров измерялся 3 мин. Энергия γ -переходов определялась при одновременном измерении спектров γ -лучей ^{164}Lu и калибровочных источников ^{56}Co , ^{75}Se , ^{138}Ba и $^{182}\text{Ta}^{9/}$. Кривая эффективности регистрации γ -лучей $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором, полученная с применением источников ^{56}Co , ^{75}Se , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{138}Ba , ^{152}Eu , ^{160}Tb и ^{182}Ta , обеспечивала определение интенсивностей γ -лучей с точностью 5%.

В изученных спектрах изобары $A = 164$ наблюдались γ -лучи ^{164}Lu , его дочерних изотопов ^{164}Yb ($T_{1/2} = 75,8 \text{ мин}$), ^{164}Tm /2 и $5,1 \text{ мин/}$ и слабой примеси ^{166}Lu /11 мин/. Идентификация γ -лучей ^{164}Lu проводилась по спаду их интенсивности. Периоды полураспада для отдельных γ -линий определялись по четырем точкам, измеренным в течение двух периодов полураспада ^{164}Lu . Период полураспада для наиболее интенсивных γ -линий 123,27 и 262,22 кэВ, измеренный нами, равен $T_{1/2} = /3,12 \pm 0,03/ \text{ мин}$. В табл.1 приведены данные об энергиях и относительных интенсивностях γ -лучей, которые мы относим к распаду ^{164}Lu . Обнаружено 54 γ -перехода, из них 27 - впервые. Значения энергии и относительных интенсивностей существенно уточнены по сравнению с данными $^{7/}$. Периоды полураспада, определенные для 37 линий табл.1 /то есть 68,5% всех переходов/, в пределах одной средней квадратичной ошибки совпадают с величиной $T_{1/2} = 3,12 \pm 0,03 \text{ мин}$. Периоды полураспада для 12 γ -переходов группируются вокруг среднего значения $T_{1/2} = /4,2 \pm 0,4/ \text{ мин}$, а для трех γ -переходов имеют среднее значение $/2,5 \pm 0,4/ \text{ мин}$. В пределах двойной средней квадратичной ошибки $T_{1/2}$ для всех линий, представленных в табл.1, совпадают со значением $/3,12 \pm 0,03/ \text{ мин}$, кроме трех переходов /то есть 5% всего числа переходов/, $T_{1/2}$ для которых совпадают с $/3,12 \pm 0,03/ \text{ мин}$ в пределах тройной ошибки. Средневзвешенное значение периода полураспада, вычисленное по убыванию интенсивности всех 54 переходов, равно $/3,12 \pm 0,02/ \text{ мин}$.

Спектры $(\gamma-\gamma)$ -совпадений изучались в режиме трехмерного $(E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2} - t)$ -анализа $^{10/}$ с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов. Чувствительный объем детекторов составлял 43 и 55 см^3 , энергетическое разрешение для обоих детекторов - 2,8 кэВ при $E_{\gamma} = 1332 \text{ кэВ}$. Разрешающее время схемы совпадений - 30 нс. Трехмерная матрица совпадений записывалась на магнитную ленту, которая обрабаты-

Таблица 1

Значения энергий и относительных интенсивностей
 γ -лучей при распаде ^{164}Lu

E_{γ} (ΔE_{γ}) (кэВ)	I_{γ} (ΔI_{γ}) (отн.ед)	E_{γ} (ΔE_{γ}) (кэВ)	I_{γ} (ΔI_{γ}) (отн.ед)
1	2	3	4
123,27(3)	319,7(150)	863,89(3)	71,8(35)
228,06(II)	2,5(2)	880,51(4)	59,8(30)
262,22(4)	100,0(52)	917,36(30)	1,4(3)
342,48(15)	2,5(4)	937,56(7)	10,2(5)
373,96(16)	5,6(3)	950,19(5)	17,8(10)
412,10(6)	6,5(3)	979,46(9)	7,3(4)
535,33(12)	4,1(4)	1065,72(16)	4,0(4)
552,01(3)	36,0(17)	1073,56(5)	23,5(10)
565,32(48)	1,0(3)	1115,07(II)	8,1(5)
567,83(15)	3,1(3)	1138,28(17)	3,4(4)
605,25(10)	4,3(3)	1146,72(II)	6,1(5)
608,02(4)	16,0(8)	1164,53(17)	7,8(5)
618,23(5)	11,4(7)	1199,87(7)	19,2(14)
630,34(29)	1,9(4)	1212,60(7)	36,4(18)
637,98(16)	2,8(3)	1222,36(23)	3,0(5)
687,83(5)	16,9(9)	1236,62(18)	4,0(5)
740,52(4)	108,7(45)	1241,11(12)	7,2(8)
747,82(4)	45,4(30)	1258,52(17)	4,7(5)
758,75(9)	7,8(5)	1267,21(19)	3,6(5)
833,26(15)	3,1(4)	1292,54(17)	17,5(27)
848,26(23)	2,3(4)	1307,49(II)	9,2(8)
852,24(4)	26,8(14)	1336,86(10)	28,1(18)

Таблица 1 /продолжение/

I	2	3	4
1341,16(19)	3,5(4)	1513,32(19)	14,2(10)
1376,60(11)	15,6(8)	1520,92(23)	7,3(7)
1389,56(11)	29,9(17)	1661,59(33)	7,2(7)
1398,37(22)	3,4(4)	1801,60(39)	5,6(5)
1487,76(18)	5,0(4)	1809,47(42)	4,3(5)

лась после окончания эксперимента на ЭВМ HP-2116С. Зарегистрировано более 10 миллионов совпадений. На рис.2 для примера показан спектр совпадений γ -лучей с γ -переходом, имеющем энергию 123,27 кэВ.

Результаты обработки спектров (γ - γ)-совпадений даны в табл.2. Принято, что расчетная и экспериментальная интенсивности совпадений γ -лучей с энергией 123,27 и 880,51 кэВ равны 20 отн.единицам. Расчетные интенсивности совпадений вычислялись по схеме распада, приведенной на рис.3. При расчетах не учитывались поправки на угловые корреляции γ -лучей. Эти поправки могут изменить интенсивность совпадений не более чем на $\pm 20\%$. Наблюдается хорошее согласие между экспериментальными и расчетными интенсивностями совпадений. Сравнение полученных данных о (γ - γ)-совпадениях с результатами работы Хантера и др.¹⁷, где проводился только качественный анализ (γ - γ)-совпадений, показывает, что отмеченные в¹⁷ совпадения γ_{262} с γ_{1376} и 1389; γ_{618} с γ_{552} ; γ_{852} с γ_{262} и 412, γ_{863} с γ_{852} и 950 в нашем эксперименте не наблюдались. Нами зарегистрированы совпадения γ_{123} с γ_{1164} и 1662; γ_{262} с γ_{412} , 605 и 1164; γ_{608} с γ_{618} /и, вероятно, γ_{535} с γ_{552} , 740 и 864 кэВ/, не замеченные Хантером и др. Наблюдаемые совпадения γ -лучей хорошо иллюстрируют предлагаемую нами схему распада ^{164}Lu /рис.3./.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Об изомерном состоянии ^{164}Lu

В реакциях с тяжелыми ионами $^{152}\text{Sm}(^{18}\text{O}, 7\text{пэВ}^-)^{163}\text{Yb}$ и $^{164}\text{Sm}(^{18}\text{O}, 7\text{пэВ}^-)^{168}\text{Yb}$. Л.Рихтером и др.¹¹ было установлено, что основное состояние ^{163}Yb имеет нильссоновские квантовые характеристики $3/2^-/521/$, а уровень с энергией 53,9 кэВ - $5/2^-/523/$. Основное и возбужденные состояния ^{168}Lu

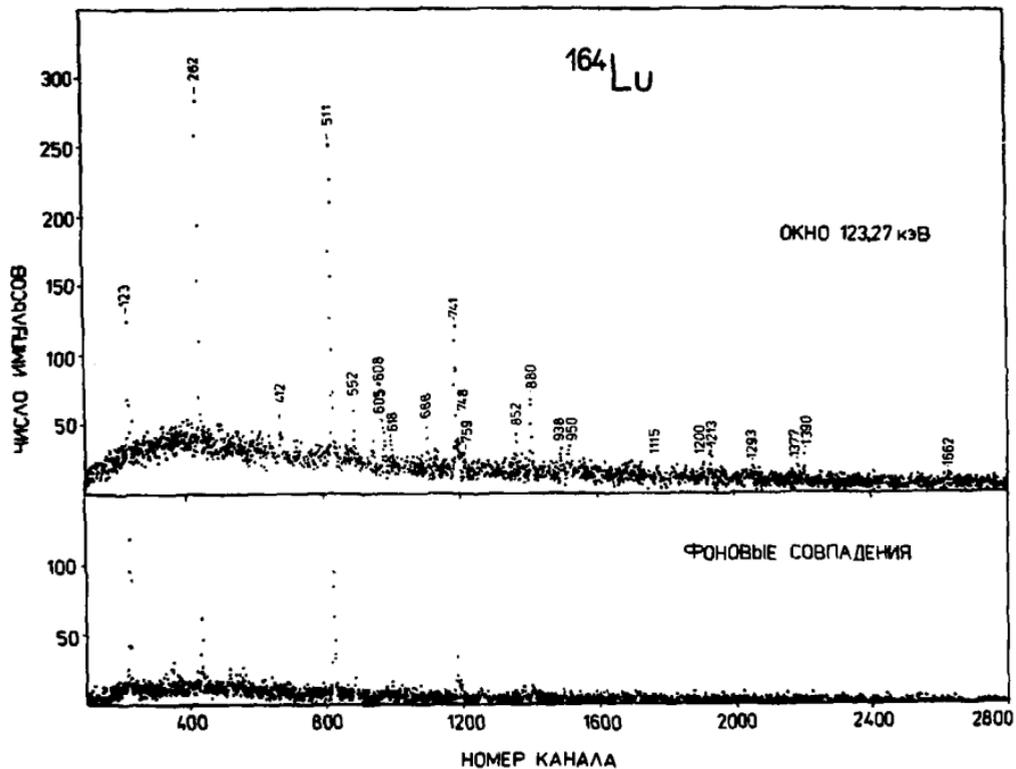


Рис.2. Спектр совпадений γ -лучей с γ -переходом с энергией 123,27 кэВ.

Таблица 2

Результаты анализа спектров (γ - γ)-совпадений при распаде ^{164}Lu

E_{γ_1} (кэВ)	E_{γ_2} (кэВ)	экон. расчет		E_{γ_1} (кэВ)	E_{γ_2} (кэВ)	экон. расчет	
		$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$ (отн. ед)	$I_{\gamma\gamma}$ (отн. ед)			$I_{\gamma\gamma}(\Delta I_{\gamma\gamma})$ (отн. ед)	$I_{\gamma\gamma}$ (отн. ед)
123,27	373,96		1,9	262,22	608,02	5(3)	4,4
	412,10	2(1)	2,2		618,23	12(3)	18,8
	552,01	3(2)	7,3		687,83	25(4)	27,9
	605,25	2(1)	1,5		758,75	13(4)	12,5
	608,02	3(1)	5,4		937,56	17(5)	16,9
	618,23	2(1)	3,8		979,46	11(4)	11,9
	687,83	6(2)	5,7		1115,07	5(2)	13,5
	740,52	28(4)	36,5		1164,53	6(3)	9,8
	747,82	7(2)	8,9	412,10	880,51	9(4)	9,1
	758,75	3(2)	2,6	535,33	552,01	да	4,2
	852,24	9(3)	8,9		740,52	да?	2,1
	880,51	20(4)	20,		863,89	да?	1,7
	937,56	6(3)	3,4	552,01	740,52	35(8)	35,7
	950,19	8(2)	6,		863,89	15(7)	23,5
	1115,07	6(2)	2,8	608,02	618,23	5(2)	4,4
	1199,87	5(2)	6,4		880,51	22(6)	22,2
	1212,60	10(3)	12,1	740,52	747,82	54(10)	44,8
	1292,54	6(3)	5,9	747,82	863,89	22(9)	29,7
	1376,60	7(2)	5,2				
	1389,56	8(3)	10,				
	1661,59	2(1)	2,4				

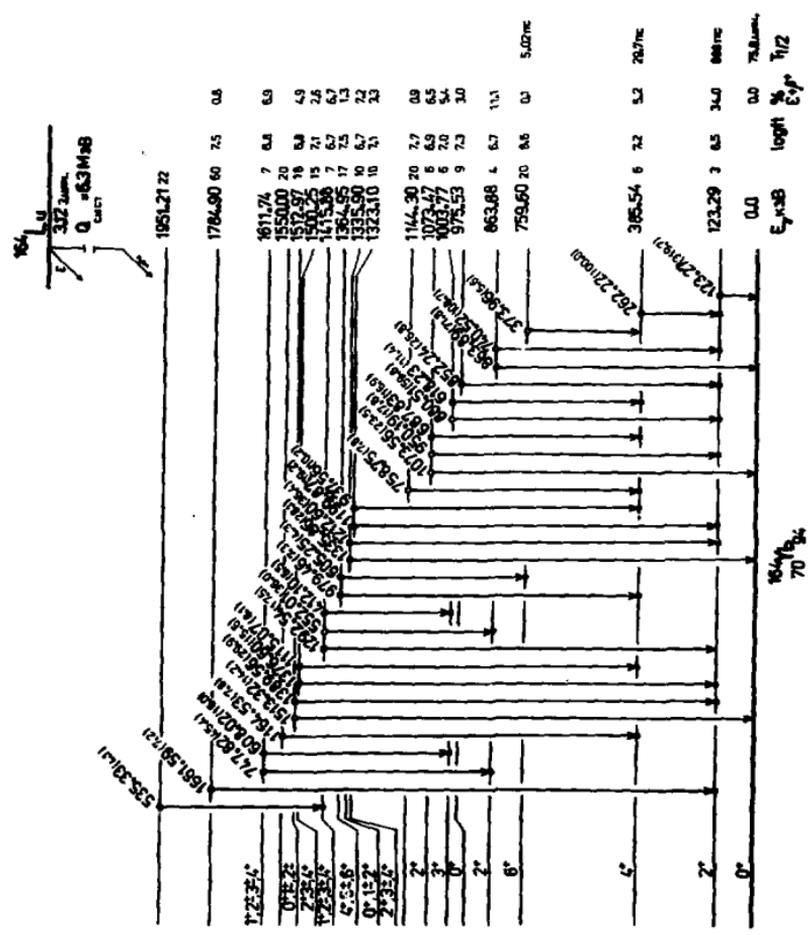


Рис.3. Схема распада 164Дл 3,12 мин → 164Уб.

экспериментально не определены, но по систематике одночастичных состояний в нечетных изотопах лютеция следует ожидать, что низколежащими состояниями будут $7/2^+/404/$, $1/2^+/411/$ и $5/2^+/402/$. Тогда основное состояние и низколежащие состояния ^{164}Lu будут формироваться нейтроном в состоянии $3/2^-/521/$ и протоном в состояниях $7/2^+/404/$, $1/2^+/411/$ и $5/2^+/402/$ и будут иметь спин и четность 2^- , 1^- , 5^- и 4^- соответственно. Поэтому можно предполагать, что изомерное состояние в ^{164}Lu будет существовать $^{17/}$.

Р.Ц.Хантер и др. $^{17/}$ на основе периодов полураспада переходов $937,9$ кэВ $/T_{1/2} = 1,9 \pm 0,6$ мин/, $1199,4$ кэВ $/2,8 \pm 0,8$ мин/, $374,2$ кэВ $/2,2 \pm 1,5$ мин/, $979,6$ кэВ $/2,5 \pm 2,0$ мин/ и $605,0$ кэВ $/T_{1/2}$ не определен/ предполагают существование изомера в ^{164}Lu . Однако периоды полураспада, измеренные нами, для этих γ -переходов равны $2,94 \pm 0,22/$ мин, $3,01 \pm 0,16/$ мин, $3,51 \pm 0,30/$ мин, $3,07 \pm 0,32/$ мин и $3,03 \pm 0,30/$ мин соответственно. Все они совпадают в пределах ошибки со средним значением $3,12 \pm 0,03$. Поэтому предположение наличия изомерного состояния, связанного с вышеуказанными переходами, является необоснованным.

3.2. Схема распада ^{164}Lu

Для построения схемы распада ^{164}Lu /рис.3/ по полученным в настоящей работе результатам исследования спектров γ -лучей /табл.1/ и $(\gamma-\gamma)$ -совпадений /табл.2/ использована программа НАДАН $^{18/}$. Подтверждаются все возбужденные уровни ^{164}Yb , введенные Хантером и др. $^{17/}$. Дополнительно на основе совпадений γ -лучей с энергиями $1164,5$ и $262,2$ кэВ вводится уровень $1550,0$ кэВ; γ -лучей с $1661,6$ и $123,3$ кэВ - уровень $1784,9$ кэВ; $535,3$ и $552,0$ кэВ; $740,5$ и $863,9$ кэВ - уровень с энергией $1951,2$ кэВ.

В результате исследований возбужденных состояний ^{164}Yb в ядерных реакциях авторы $^{1-5/}$ приписали первым трем возбужденным уровням ^{164}Yb положительную четность и спины $2, 3$ и 4 соответственно. В $^{17/}$ по данным об интенсивностях γ -переходов предполагается, что уровни с энергиями $863,9$, $1003,8$, $1144,3$ и $1364,9$ кэВ составляют ротационную полосу γ -вибрационного состояния со спинами $2, 3, 4$ и 5 соответственно, а уровни $975,5$, $1073,5$ и $1323,1$ кэВ принадлежат полосе β -вибрационного состояния со спинами $0, 2$ и 4 . Растикердар и др. $^{13/}$, измерив коэффициенты конверсии и угловые корреляции γ -лучей, однозначно определили спины и четность следующих уровней: $863,9$ кэВ - 2^+ ; $975,5$ кэВ - 0^+ ; $1003,8$ кэВ - 3^+ и $1073,5$ кэВ - 2^+ . На рис.3 спины и четности для первых семи возбужденных уровней ^{164}Yb указаны по данным $^{1-5/}$ и $^{18/}$, а для более высоких уровней - по нашим данным об отношениях интенсивностей разрядки уровней в предположении, что мультипольности наблюдаемых γ -лучей - типа $E1, M1$ или $E2$.

В табл.3 представлены рассчитанные по результатам табл.1 отношения приведенных вероятностей γ -переходов с уровней γ - и

Таблица 3

Параметры смешивания Z_γ и Z_β γ - и β -ротационной полосы с ротационной полосой основного состояния

$I \rightarrow I_1$	$V(E2; I \rightarrow I_1) / V(E2; I \rightarrow I_2)$	Параметр
$I \rightarrow I_2$	Эксперим.	смешивания
	Модель	
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,306(20)	$Z_\gamma = 0,146(12)$
$2^+ \rightarrow 2^+$		
$3^+ \rightarrow 2^+$	0,895(71)	$Z_\gamma = 0,068(8)$
$3^+ \rightarrow 4^+$		
$5^+ \rightarrow 4^+$	0,153(14)	$Z_\gamma = 0,131(6)$
$5^+ \rightarrow 6^+$		
$2^+ \rightarrow 0^+$	0,150(10)	$Z_\beta = 0,0257(20)$
$2^+ \rightarrow 4^+$		
$2^+ \rightarrow 2^+$	0,209(16)	$Z_\beta = 0,0450(46)$
$2^+ \rightarrow 4^+$		
$4^+ \rightarrow 2^+$	0,548(48)	$Z_\beta = 0,0200(22)$
$4^+ \rightarrow 4^+$		

β -вращательных полос на уровне полосы основного состояния. В адиабатической модели эти отношения должны подчиняться правилам Алаги /третья колонка табл.3/. Видно, что экспериментальные данные значительно отличаются от предсказаний простой модели. Обычно в других четно-четных деформированных ядрах лучшее согласие достигается, когда учитывается смешивание состояний γ -полосы с состояниями полосы основного состояния, характеризующееся параметром Z_γ , и смешивание состояний β -полосы и основной полосы /параметр Z_β /. Применяя формализм, использованный в работе Ридингера и др.^{14/}, мы рассчитали параметры Z_γ и Z_β /см.табл.3/ в предположении, что смешивание состояний β - и γ -полос отсутствует. При этом в рассматриваемой модели параметры Z_γ или Z_β должны быть одинаковы для всех возбужденных уровней данной γ - или β -полосы. Хотя разброс значений параметров Z_γ и Z_β у нас несколько меньше, чем в^{17/}, равенства в пределах ошибки не наблюдается. Учет смешивания состояний β - и γ -полос между

собой влияет только на состояния с четным спином и не может поэтому уменьшить разницу в величинах Z_{γ} : 0,088/8/ и 0,131/8/ для состояний 3^+ и 5^+ . Экспериментальные значения отношений вероятностей переходов с уровня 2^+ /4 и 5 строки табл.3/ можно привести в полное соответствие с теорией, если учесть, используя тот же формализм /14/, смешивание состояний β^- и γ -полос. При этом получено значение параметра смешивания β^- и γ -полос $\xi_{\beta\gamma} = -0,0085$, а Z_{β} становится равным 0,0319. Предполагая для состояния 4^+ β^- -полосы то же значение $\xi_{\beta\gamma} = -0,0085$, получаем для Z_{β} значение 0,0704. Таким образом, в рамках формализма /14/, учитывающего смешивание состояния β^- , γ - и основной вращательных полос, не удастся согласовать экспериментальные данные об интенсивностях γ -лучей между этими состояниями с теорией. Более детальный анализ, например учет различия величин квадрупольных моментов основного и возбужденных состояний, проводить пока, по-видимому, преждевременно. Необходимо получить более полные и точные экспериментальные данные как об интенсивностях γ -переходов и их размещении в схеме распада, так и об их мультипольном составе.

Указанные в схеме распада /рис.3/ интенсивности β^- -распада на уровне ^{164}Yb и соответствующие величины $\log ft$ носят ориентировочный характер, поскольку ряд переходов /25 из 54 в табл.1/ не размещен в схеме распада. При вычислении значений $\log ft$ предполагалось, что энергия распада $Q_{\beta} = 6,3 \text{ МэВ} /13,15/$ и что основное состояние ^{164}Yb при β^- -распаде ^{164}Lu не заселяется. Указанные на рис.3 периоды полураспада возбужденных состояний получены Б.Бочевым и др. /6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stephens F.S., Lark N.L., Diamond R.M. Nucl.Phys., 1965, 63, p.82.
2. Lieder R.M. et al. Phys.Lett., 1972, 39B, p.196.
3. Lieder R.M. et al. Z.Physik, 1972, 257, p.147.
4. Bochev B. et al. Phys.Scr., 1972, 6, p.243.
5. Bochev B. et al. Nucl.Phys., 1976, A267, p.344.
6. Neiman M., Ward D. LBL Report, 1968, UCRL-18, Berkeley, 667, p.59.
7. Hunter R.C. et al. Phys.Rev.C, 1977, 16, p.384.
8. Музиль Г., Райко В.И., Тыррофф Х. ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
9. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р6-7308, Дубна, 1973.
10. Гонусек М. и др. ОИЯИ, Р13-12422, Дубна, 1979.
11. Richter L. et al. Phys.Lett., 1977, 71B, p.74.
12. Hons Z. NIM, 1979, 161, No.2.
13. Rastikerdar S. et al. CERN, 81-09, Geneva, 1981, p.608.
14. Riedinger L.L. et al. Phys.Rev., 1969, 179, p.1214.

15. Wapstra A.H., Bos K. Atomic Data and Nucl.Data Tables.,
1977, 19, No.3, p.204.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 декабря 1983 года

Адам Л. и др.

6-83-819

Исследование распада ^{184}Lu $T_{1/2} = 3,12 \text{ мин}$

Исследовались спектры γ -лучей и трехмерных $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде ^{184}Lu . На основе анализа результатов предлагается и обсуждается схема возбужденных уровней ^{184}Lu .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1983

Adam L. et al.

6-83-819

Investigation of the ^{184}Lu $T_{1/2} = 31,12 \text{ min/Decay}$

Spectra of gamma-rays and three-dimensional gamma-gamma time-coincidences have been investigated at the ^{184}Lu decay. On the basis of results analysis a scheme of ^{184}Lu excited states has been proposed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод автора

