

5/x-40

A-139

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P6 - 5265



А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, В. Звольска,
Т.А. Исламов, Х. Штрусный

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР С 93, 95
И 97 НЕЙТРОНАМИ
4. РАСПАД $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb}$

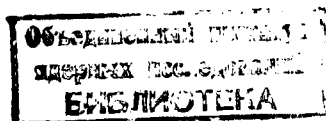
1970

Р6 - 5265

А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, В. Звольска,
Т.А. Исламов, Х. Штрусный

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР С 93, 95
И 97 НЕЙТРОНАМИ
4. РАСПАД $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb}$

Направлено в "Известия АН СССР" сер. физ.



Настоящей работой мы продолжаем публиковать результаты изучения деформированных ядер с 93,95 и 97 нейтронами. Результаты изучения возбужденных состояний ^{161}Er , ^{168}Er и ^{165}Er при распаде ^{161}Tm , ^{163}Tm и ^{165}Tm опубликованы в /1,2,3/. Предварительные результаты наших исследований распада $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb}$ представлены в /4/.

Исследованию распада ^{167}Lu посвящены работы Хармаца и др. /5/ и Громова и др. /6/. Берк и др. /7/ получили некоторые сведения о возбужденных уровнях ядра ^{167}Yb , изучая спектры тритонов в реакции $^{168}\text{Yb}(d,t)^{167}\text{Yb}$. На основе данных работ /5,6,7/ был введен ряд возбужденных состояний ядра ^{167}Yb . Однако было ясно, что схема уровней ^{167}Yb может быть существенно дополнена при более тщательном изучении спектров излучения, возникающего при распаде ^{167}Lu . Кроме того результаты /5,6,7/ в нескольких случаях противоречили друг другу. Целью настоящей работы явилось детальное изучение спектров конверсионных электронов и гамма-спектров ^{167}Lu ($T_{1/2} = 55$ мин) и построение схемы распада этого ядра.

Условия экспериментов и их результаты

Использованные нами приборы и условия экспериментов более детально описаны в /1/. Для изучения спектров излучения ^{167}Lu мы ис-

пользовали источник, содержащий радиоактивные изотопы лютеция, образовавшиеся при облучении танталовой мишени протонами с энергией 680 Мэв на внутренней пучке синхроциклотрона. Длительность облучения мишеней варьировалась от 10 мин до 2 часов. В источнике наряду с ^{167}Lu ($T_{1/2} = 55$ мин) содержались другие изотопы лютеция: ^{169}Lu ($T_{1/2} = 1,6$ дня), ^{170}Lu ($T_{1/2} = 2,0$ дня), ^{171}Lu ($T_{1/2} = 8,3$ дня), ^{172}Lu ($T_{1/2} = 6,5$ дня) и дочерние изотопы ^{167}Yb ($T_{1/2} = 17$ мин), ^{167}Tm ($T_{1/2} = 9,6$ дня) и ^{169}Yb ($T_{1/2} = 30,6$ дня).

Видно, что периоды полураспада перечисленных изотопов позволяют надежно отделить излучение, возникающее при распаде ^{167}Lu и ^{167}Yb , от излучения других изотопов. Идентификация линий, принадлежащих распаду ^{167}Yb , выполнялась на основе результатов изучения распада ^{167}Yb , выполненных Абдуразаковым и др.^{/8/}.

Спектры конверсионных электронов изучались с помощью бета-спектрографов с постоянными магнитами и однородным магнитным полем ($R \approx 0,05\%$); гамма-спектры - с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -гамма-спектрометров; разрешение 4 и 5,5 кэв при энергии 1332 кэв, объем детекторов 6,4 и 30 см³.

Результаты изучения спектров конверсионных электронов и гамма-спектров представлены в таблице 1. Обнаружено 80 гамма-переходов, из которых 54 наблюдались впервые. Энергии гамма-переходов в основном даются по результатам изучения спектров конверсионных электронов. Погрешность в определении относительных интенсивностей линии конверсионных электронов обычно не превышает тридцати процентов. Для сильных и близких по энергии линий погрешность меньше. Если перед значением интенсивности стоит знак \approx , погрешность больше 30%. Для линий конверсионных электронов с энергией менее 20 кэв ошибки в определении интенсивности могут превышать 50%. Погрешность определения относительных интенсивностей гамма-лучей не превышает 20%.

Таблица I

Энергии гамма-переходов и относительные интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов при распаде $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb}$

E_{γ} , кэВ	Относительные интенсивности в % на распад											Размерение в схеме распада			Вывод о мультипольности
	К	L_1	L_2	L_3	M_1	M_2	M_3	ΣM	J	J	J	I ₁	I ₂	I ₃	
19,68±0,02	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	1,7	$e_2 \rightarrow e_1$	-	
24,63±0,008	-	2,3	1,54	1,54	слож.	0,57	0,57	0,52	-	-	-	7,98	$b_2 \rightarrow b_1$	(E2+M1), (E1)	
26,23±0,018	-	0,91	0,18	0,09	0,23	-	-	-	-	-	-	2,6	-	M1	
28,88±0,012	-	<0,12	1,15	1,37	-	0,46	слож.	-	-	-	-	6,9	$b_2 \rightarrow b_0$	E2(E3)	
29,66±0,010	-	5,25	3,52	4,40	1,55	0,97	1,37	0,91	-	-	-	27,6	$b_0 \rightarrow a_0$	E1	
33,91±0,015	-	1,65	1,03	1,82	0,38	0,21	0,34	0,21	-	-	-	10,3	$b_1 \rightarrow a_0$	E1	
44,77±0,02	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	$a_1 \rightarrow b_1$	-	
49,02±0,02	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	$a_1 \rightarrow b_0$	-	
57,60±0,02	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	$e_4 \rightarrow d_3$	-	
59,40±0,02	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	$d_1 \rightarrow d_0$	-	
67,37±0,010	-	0,63	0,23	0,27	0,17	0,068	0,12	-	-	-	-	12,1	$c \rightarrow a_0$	E1	
69,83±0,02	-	<0,057	0,21	0,12	-	0,057	-	-	-	-	-	0,5	$e_1 \rightarrow e_0$	(M1+E2)	
78,33±0,02	5,25	0,63	0,12	0,06	0,12	0,02	-	-	-	-	-	7,13	$d_2 \rightarrow d_1$	M1	
78,67±0,015	~4	0,34	4,56	4,7	0,09	1,37	1,48	слаб.	-	-	-	18,4	$a_1 \rightarrow a_0$	E2	
89,49±0,015	0,25	0,02	0,17	0,17	-	0,03	0,03	-	-	-	-	0,98	$e_2 \rightarrow e_0$	E2	
95,27±0,020	1,25	0,13	0,02	слож.	-	-	-	-	-	-	-	1,72	$f_1 \rightarrow f_0$	M1	
100,22±0,020	слож.	0,05	0,32	0,30	-	0,08	0,08	-	-	-	-	1,72	$a_2 \rightarrow a_1$	E2	
102,08±0,02	1,37	0,17	0,02	-	0,05	-	-	-	-	-	-	2,0	$d_3 \rightarrow d_2$	M1	
102,56±0,025	1,25	0,14	0,02	0,011	0,34	-	-	-	-	-	-	1,90	$g \rightarrow f_1$	M1	
120,31±0,03	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	$a_2 \rightarrow b_2$	-	
123,19±0,03	0,57	0,1	~0,021	0,008	-	-	-	-	-	-	-	1,27	$b_3 \rightarrow d_2$	M1(+E2)	

продолж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
139,56±0,03	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	-	-
144,97±0,03	0,13	0,01	-	-	-	-	-	-	-	1,44	$a_2 \rightarrow b_1$	-
151,96±0,03	0,14	0,02	слож	0,006	-	-	-	-	<0,34	<0,52	-	MI+E2
160,49±0,03	0,14	слож	-	-	-	-	-	-	-	0,34	$d_1 \rightarrow a_1$	-
162,42±0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	$e_3 \rightarrow e_2$	-
178,87±0,04	0,43	~0,05	0,08	0,06	-	-	-	-	-	2,5	$a_2 \rightarrow a_0$	E2
179,69±0,04	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	$d_0 \rightarrow a_0$	-
182,07±0,05	0,34	0,05	0,075	0,05	-	-	-	-	-	2,28	$e_3 \rightarrow e_1$	E2
183,61±0,05	0,08	0,02	-	-	-	-	-	-	-	1,61	$f_0 \rightarrow b_0$	-
188,66±0,05	0,4	≤0,04	0,07	0,06	-	-	-	-	3,08	3,74	$e_0 \rightarrow a_0$	E2
194,60±0,04	0,057	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	-	-
199,12±0,05	0,14	0,02	0,03	0,02	-	-	-	-	} 0,79	0,98	$e_4 \rightarrow e_2$	E2
201,56±0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-		0,23	$b_3 \rightarrow d_1$	(MI, E2)

E _к кэв	Относительные интенсивности в % на распад						Размещение в схеме распада	Вывод о мультиполь- ности
	K	L ₁	L ₂	L ₃	J _г	J _п		
I	2	3	4	5	6	7	8	9
213,20±0,04	1,23	0,16	~0,02	<0,01	3,4	4,9	$f_0 \rightarrow a_0$	MI
222,79±0,06	0,13	0,02	0,03	0,02	0,91	1,15	-	E2
229,78±0,05	0,31	0,05	<0,009	-	} 1,03	1,44	$f_1 \rightarrow a_1$	MI
232,12±0,06	0,017	-	-	-		0,2	$g \rightarrow a_2$	-
235,90±0,08	0,086	0,017	0,018	0,015	-	0,98	-	-
239,00±0,08	0,23	0,034	<0,011	-	} 11,4	1,38	$d_2 \rightarrow a_1$	MI
239,22±0,08	1,86	0,28	0,034	<0,01		14	$d_1 \rightarrow a_0$	MI
240,80±0,10	0,028	-	-	-		0,2	$d_3 \rightarrow a_2$	-
243,40±0,10	0,01	-	-	-	-	0,35	-	-

I	2	3	4	5	6	7	8	9
248,04±0,10	0,023	-	-	-	0,74	0,78	-	EI
258,54±0,04	0,32	0,043	~ 0,005	-	1,2	1,61	$e_1 \rightarrow a_0$	MI
261,84±0,06	0,21	0,034	~ 0,005	-	0,91	1,21	$e_3 \rightarrow a_2$	MI
274,7±0,1	0,01	-	-	-	-	0,58	$f_1 \rightarrow b_1$	-
278,22±0,07	0,27	0,05	< 0,009	-	} 4,15	4,4	$e_2 \rightarrow a_0$	MI+E2
278,92±0,09	0,057	0,007	-	-		0,58	-	-
298,58±0,09	~ 0,007	-	-	-	0,64	0,65	$e_4 \rightarrow a_2$	EI
308,47±0,09	0,034	-	-	-	0,27	0,28	$f_1 \rightarrow a_0$	MI
317,65±0,10	0,19	0,033	0,011	-	1,41	1,7	$d_2 \rightarrow a_0$	MI
332,3±0,15	~ 0,0091	-	-	-	-	0,27	$g \rightarrow a_1$	-
339,0±0,2	~ 0,008	-	-	-	-	0,30	-	-
340,92±0,15	0,044	-	-	-	0,49	0,56	$d_3 \rightarrow a_1$	MI
362,08±0,15	0,021	-	-	-	-	< 0,56	$e_3 \rightarrow a_1$	-
372,38±0,15	0,049	0,009	< 0,002	-	0,51	0,58	-	MI
374,9±0,2	0,009	-	-	-	-	0,58	$l \rightarrow d_1$	-
392,8±0,2	0,031	0,0057	-	-	-	0,58	-	-
398,44±0,2	0,023	0,0034	-	-	} < 2,2	0,28	$e_4 \rightarrow a_1$	-
400,9±0,2	0,193	0,033	< 0,008	-		2,47	$i \rightarrow f_0$	MI
410,96±0,2	0,019	-	-	-	0,35	0,38	$g \rightarrow a_0$	MI
417,78±0,2	0,014	-	-	-	0,22	0,24	-	MI
446,0±0,4	0,0057	-	-	-	1,0	1,02	-	EI
571,3±0,3	≤ 0,0057	-	-	-	1,06	1,08	$h \rightarrow f_0$	EI
591±0,4	-	-	-	-	0,89	0,90	-	-
601,1±0,3	0,023	-	-	-	1,32	1,35	$h \rightarrow a_0$	MI+E2
634±0,5	-	-	-	-	0,78	0,79	-	-
785	-	-	-	-	1,03	1,04	-	-

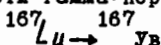
1	2	3	4	5	6	7	8	9
989	-	-	-	-	1,94	1,95	-	-
1189	-	-	-	-	2,35	2,37	$j \rightarrow d_2$	-
1228	-	-	-	-	2,76	2,78	$j \rightarrow e_2$	-
1268	-	-	-	-	4,57	4,61	$j \rightarrow d_4$	-
1379	-	-	-	-	3,59	3,62	-	-
1396	-	-	-	-	3,90	3,93	-	-
1427	0,0023	-	-	-	2,76	2,78	$j \rightarrow a_4$	EI
1507	0,0034	-	-	-	5,89	5,93	$j \rightarrow a_0$	EI
1637	-	-	-	-	2,84	2,86	-	-
1644	-	-	-	-	2,97	2,99	-	-
1893	-	-	-	-	2,74	2,76	-	-

Сравнивая полученные данные о конверсионных электронах с результатами Хармаца и др.^{/5/} и Громова и др.^{/6/}, можно отметить следующее. В^{/5,6/} к распаду ¹⁸⁷Lu отнесены гамма-переходы с энергиями 56,2 и 129,1 кэв. Каждый из них был введен только по одной конверсионной линии (L₁-и K-линиям соответственно). Более высокая разрешающая способность приборов и, вероятно, более сильные источники позволили нам наблюдать новые конверсионные линии и изменить эту интерпретацию. Так, линию с энергией электронов 67,84 кэв, ранее интерпретируемую как K-129,1, мы теперь объясняем как L₁-78,33. Как видно из таблицы 1, новый переход идентифицирован по шести конверсионным линиям. Линия 45,81 кэв, ранее идентифицированная как L-56,2, теперь идентифицирована как линия K-105,2, возникающая при распаде ¹⁸⁷Yb (см.^{/8/}).

В таблице 2 сравниваются экспериментальные и теоретические^{/9/} значения абсолютных (α_k) и относительных (K/L₁, L₁/L₂, L₂/L₃ т.д.) значений коэффициентов внутренней конверсии гамма-лучей ¹⁸⁷Lu. Для вычисления значений α_k интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов в таблице 1 мы привели к одним единицам, используя теоретическое значение $\alpha_k(M1)$ для гамма-перехода 213,20 кэв. Мультипольность этого перехода уверенно определяется из отношений K/L₁, L₁/L₂ и L₂/L₃. В специальном опыте была определена интенсивность гамма-лучей 239 кэв (239,0+239,22 кэв) в процентах на один распад ¹⁸⁷Lu. Чтобы уменьшить примесь долгоживущих изотопов, лютеций быстро выделялся из фракций гафния методом, описанным в^{/15/}. Через час после выделения проведено несколько серий измерений относительных интенсивностей гамма-лучей с энергиями 176,23 кэв ¹⁸⁷Yb и 239 кэв ¹⁸⁷Lu. Гамма-лучи с энергией 176,23 кэв возникают в 24% случаев распада ¹⁸⁷Yb^{/8/}. Используя это значение и соответствующие формулы для генетических цепочек, мы определили, что гамма-лучи 239 кэв возника-

Т а б л и ц а 2

Определение мультипольности гамма-переходов, возникающих при распаде



E _γ , кэВ	Метод опреде- ления	Эко- перм- мент	Т е о р и я						Вывод о мультиполь- ности
			M1	M2	M3	E1	E2	E3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24,63	L ₁ :L ₂	~1,5	10,6	15,8	18	1,15	0,014	0,017	
	L ₂ :L ₃	1	6,9	0,12	0,018	0,72	0,76	0,93	(E1, E2+M1)
	M ₂ :M ₃	1	6,7	0,14	0,02	0,67	0,75	0,85	
26,23	L ₁ :L ₂	5	10,7	15,7	16,5	1,22	0,013	0,016	/M1/
	L ₂ :L ₃	>2	6,3	0,16	0,018	0,707	0,77	0,81	
28,88	L ₁ :L ₂	<0,1	10,6	15,2	16	1,30	0,011	0,012	E2/E3/
	L ₂ :L ₃	0,8	7,1	0,14	0,018	0,73	0,77	0,94	
29,66	L ₁ :L ₂	1,48	10,8	14,5	15	1,35	0,011	0,010	E1
	L ₂ :L ₃	0,8	7,2	0,15	0,018	0,73	0,78	0,97	
	M ₁ :M ₂	1,6	10,2	12,06	14	1,40	0,01	0,014	
	M ₂ :M ₃	0,7	7,0	0,16	0,02	0,70	0,80	0,90	
33,91	L ₁ :L ₂	1,6	10,3	13,8	14,5	1,57	0,0097	0,015	E1, M2+E3
	L ₂ :L ₃	0,56	7,28	0,16	0,025	0,74	0,79	0,98	
	M ₁ :M ₂	1,8	10	11,8	13	1,7	0,011	0,015	
	M ₂ :M ₃	0,6	7,2	0,18	0,025	0,73	0,85	0,98	
67,37	L ₁ :L ₂	2,75	11,0	10,1	7,2	2,80	0,04	0,018	E1
	L ₂ :L ₃	0,80	7,28	0,34	0,09	0,78	0,98	1,00	
	M ₁ :M ₂	2,5	10,3	8,7	6,8	3,05	0,06	0,02	
	M ₂ :M ₃	0,6	7,0	0,42	0,11	0,80	0,93	1,05	
69,83	L ₁ :L ₂	<0,3	11,1	9,9	7,1	2,9	0,045	0,019	M1+/E2/
	L ₂ :L ₃	>1,8	7,0	0,36	0,09	0,79	0,98	1,01	
78,33	K:L ₁	8,3	6,95	4,10	1,5	9,5	10,30	2,90	M1+/E2/
	L ₁ :L ₂	5,5	11,2	9,2	6,6	3,09	0,062	0,021	
	L ₂ :L ₃	>2	6,7	0,43	0,10	0,81	0,96	1,06	
	M ₁ :M ₂	>5	8,50	6,85	6,60	3,2	0,07	0,02	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
78,87	$R:L_1$	$\sim 11,7$	6,9	4,1	1,5	9,5	10,3	2,9	
	$L_1:L_2$	0,07	11,3	8,8	6,6	3,12	0,063	0,02	
	$L_2:L_3$	0,97	7,32	0,41	0,10	0,81	1,02	1,02	E2
	$M_1:M_2$	$\sim 0,07$	8,5	6,8	6,6	3,2	0,07	0,02	
	$M_2:M_3$	0,89	7,4	0,37	0,10	0,82	0,89	1,00	
89,49	$R:L_1$	~ 10	7,2	4,3	1,8	9,7	10,4	3,4	
	$L_1:L_2$	$\sim 0,13$	11,3	8,8	6,3	3,6	0,11	0,02	
	$L_2:L_3$	1,0	6,7	0,5	0,10	0,83	0,98	1,1	E2
	$M_2:M_3$	~ 1	6,7	0,47	0,10	0,81	0,95	1,08	
	$R:L_1$	10	7,3	4,5	2,0	9,9	10,5	3,7	
95,27	$L_1:L_2$	> 7	11,3	8,6	6,1	3,9	0,13	0,025	M1
	$L_1:L_2$	$\sim 0,15$	11,5	8,4	5,9	4,2	0,17	0,03	
100,22	$L_2:L_3$	1,07	6,85	0,58	0,17	0,83	1,05	1,18	E2
	$M_2:M_3$	1,0	6,8	0,6	0,16	0,82	1,03	1,15	
102,08	$R:L_1$	8	7,3	4,7	2,4	9,5	10,4	6,5	
	$L_1:L_2$	> 10	11,5	8,4	5,9	4,2	0,17	0,03	M1
102,56	$R:L_1$	9	7,3	4,7	2,4	9,5	10,4	6,5	
	$L_1:L_2$	8	11,5	8,4	5,9	4,2	0,17	0,03	M1
	$L_2:L_3$	$> 1,5$	6,81	0,58	0,17	0,85	1,05	1,18	
123,19	$R:L_1$	5,5	7,3	5,0	2,6	8,93	10,15	7,59	
	$L_1:L_2$	~ 5	11,5	7,8	5,8	4,30	0,19	0,041	M1/+E2/
	$L_2:L_3$	$\geq 2,6$	6,8	0,6	0,2	0,87	1,16	1,26	
151,96	$R:L_1$	8	7,3	5,2	3,4	8,6	10,1	8,1	
	α_K	$> 0,4$	0,90	4,8	14,5	0,10	0,35	1,2	M1+E2
178,87	$R:L_1$	$\sim 9,5$	7,3	5,5	3,9	8,8	9,6	8,1	
	$L_1:L_2$	$\sim 0,6$	11,9	7,8	5,6	6,03	0,45	0,08	E2
	$L_2:L_3$	1,2	7,04	1,16	0,4	0,93	1,29	1,55	
182,07	$R:L_1$	7	7,35	5,6	4,0	8,8	9,4	8,1	
	$L_1:L_2$	0,65	12,2	8,0	5,5	6,3	0,5	0,12	E2
	$L_2:L_3$	1,4	7,04	1,17	0,43	0,94	1,3	1,6	
188,66	$R:L_1$	$\sim 8,7$	7,3	5,6	4,0	8,8	9,4	8,1	
	$L_1:L_2$	0,56	12,2	8,0	5,5	6,3	0,54	0,13	E2
	$L_2:L_3$	1,3	7,02	1,16	0,4	0,94	1,3	1,6	
	α_K	0,13	0,50	2,5	12	0,055	0,19	0,61	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	K:L ₁	6	7,4	5,7	4,2	8,7	9,4	8,0	
199,12	L ₁ :L ₂	0,8	12,3	8,0	5,5	6,6	0,6	0,15	E2
	L ₂ :L ₃	1,3	7,04	1,2	0,45	0,93	1,3	1,6	
	α_K	0,17	0,43	2,1	11	0,047	0,16	0,52	
	K:L ₁	7,5	7,3	5,7	4,3	8,7	9,4	8,0	
213,20	L ₁ :L ₂	~8,2	12,4	8,03	5,5	6,8	0,7	0,16	M1
	L ₂ :L ₃	>2,2	7,02	1,30	0,48	0,94	1,35	1,66	
	α_K	0,36	0,36	1,6	5,3	0,04	0,14	0,42	
	K:L ₁	6,1	7,3	5,7	4,3	8,7	9,4	8,0	
222,79	L ₁ :L ₂	0,7	12,4	8,03	5,5	6,8	0,7	0,16	E2
	L ₂ :L ₃	1,2	7,0	1,3	0,48	0,94	1,3	1,6	
	α_K	0,14	0,32	1,4	4,5	0,035	0,12	0,36	
	K:L ₁	6,6	7,4	5,9	4,5	8,6	9,5	7,9	
229,78	L ₁ :L ₂	>5,1	12,5	8,1	5,5	7,1	0,75	0,18	M1
	α_K	0,3	0,28	1,3	3,5	0,032	0,11	0,33	
	K:L ₁	5	7,4	6,0	4,6	8,6	9,5	7,9	
235,90	L ₁ :L ₂	0,9	12,6	8,1	5,5	7,4	0,8	0,20	E2
	L ₂ :L ₃	1,2	7,0	1,3	0,48	0,94	1,3	1,66	
	K:L ₁	6,7	7,4	6,0	4,6	8,6	9,5	7,9	
239,00	L ₁ :L ₂	>3	12,6	8,1	5,5	7,4	0,8	0,20	/M1/
	K:L ₁	6,5	7,4	6,0	4,6	8,6	9,5	7,9	
	L ₁ :L ₂	8,3	12,6	8,1	5,5	7,4	0,8	0,20	
239,22	L ₂ :L ₃	>3	7,1	1,4	0,5	0,94	1,3	1,70	M1
	α_K	>0,16	0,25	1,1	3,2	0,028	0,095	0,29	
	K:L ₁	7,2	7,4	6,1	4,8	8,5	9,2	7,8	
248,04	L ₁ :L ₂	~7,6	12,7	8,1	5,5	7,8	0,9	0,24	M1
	α_K	0,26	0,20	0,84	2,7	0,024	0,082	0,25	
	K:L ₁	6,2	7,4	6,1	4,8	8,5	9,0	7,8	
258,54	L ₁ :L ₂	~7,5	12,7	8,1	5,5	7,8	0,9	0,24	M1
	α_K	0,23	0,19	0,83	2,6	0,023	0,077	0,24	
	K:L ₁	5,4	7,4	6,1	4,9	8,4	8,7	7,7	
261,84	L ₁ :L ₂	5,4	12,8	8,2	5,6	8,2	1,0	0,27	M1+E2
	α_K	>0,08	0,16	0,67	2,1	0,020	0,064	0,20	
	K:L ₁	5,4	7,4	6,1	4,9	8,4	8,7	7,7	
278,22	L ₁ :L ₂	5,4	12,8	8,2	5,6	8,2	1,0	0,27	M1+E2
	α_K	>0,08	0,16	0,67	2,1	0,020	0,064	0,20	
	K:L ₁	5,4	7,4	6,1	4,9	8,4	8,7	7,7	
290,58	L ₁ :L ₂	5,4	12,8	8,2	5,6	8,2	1,0	0,27	/E1/
	α_K	>0,08	0,16	0,67	2,1	0,020	0,064	0,20	
	K:L ₁	5,4	7,4	6,1	4,9	8,4	8,7	7,7	

продолжение таблицы 2

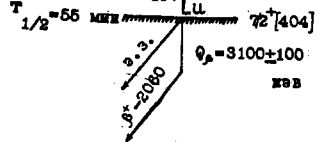
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
308,47	α_K K:L ₁	0,12 5,8	0,12 7,4	0,49 6,2	1,3 5,2	0,016 8,3	0,050 8,5	0,14 7,5	M1
317,65	L ₁ :L ₂ α_K	>3 0,13	13,0 0,11	8,4 0,44	5,6 1,1	9,0 0,015	1,2 0,045	0,37 0,13	M1
340,92	α_K K:L ₁	0,09 5,4	0,095 7,4	0,35 6,4	0,97 5,4	0,012 8,4	0,037 8,2	0,10 7,3	M1
372,38	L ₁ :L ₂ α_K	>5,3 ~0,09	13,5 0,073	8,6 0,25	5,9 0,68	10,0 0,010	1,6 0,030	0,50 0,082	/M1/
	K:L ₁	5,8	5,5	5,3	5,1	5,7	5,6	5,5	
400,9	L ₁ :L ₂ α_K	>4 <0,087	13,9 0,06	8,8 0,20	6,0 0,52	10,8 0,008	1,8 0,025	0,6 0,065	M1
410,96	α_K	0,055	0,058	0,2	0,48	0,008	0,023	0,062	M1
417,78	α_K	0,063	0,056	0,12	0,47	0,0077	0,023	0,062	M1
446,0	α_K	0,0056	0,04	0,13	0,35	0,0063	0,017	0,046	E1
571,3	α_K	<0,0053	0,025	0,072	0,15	0,0039	0,011	0,025	E1
601,1	α_K	0,017	0,023	0,061	0,13	0,0035	0,009	0,022	M1/+E2/
1427	α_K	0,0008	0,0023	0,005	0,010	0,0006	0,0014	0,003	E1
1507	α_K	0,0006	0,0021	0,0046	0,008	0,0006	0,0013	0,0025	E1

ют в 15,4% случаев распада ^{167}Lu . Это значение использовано для расчёта интенсивностей остальных гамма-лучей в процентах на распад ^{167}Lu .

Схема распада ^{167}Lu

При построении схемы распада ^{167}Lu (рис. 1) мы исходили из представленных выше результатов изучения спектров гамма-лучей и конверсионных электронов; использованы также результаты изучения позитронного спектра ^{167}Lu /10,11/ и сведения о возбужденных состояниях ^{167}Yb , полученные при изучении реакции $^{168}\text{Yb}(d,t)^{167}\text{Yb}$ в /7/. Оценка интенсивностей заселения уровней ^{167}Yb при распаде ^{167}Lu (рис. 1) показывает, что бета-распад идет, главным образом, на низколежащие уровни. Поэтому можно считать, что позитронная компонента, обнаруженная в /11/, с граничной энергией (2060±100) кэВ связана с распадом на уровни малой энергии (30–80 кэВ). Энергия распада $^{167}\text{Lu} - ^{167}\text{Yb}$ тогда равна (3100±100) кэВ. Это значение хорошо совпадает с полуэмпирической оценкой 3200 кэВ /12/. Полученное значение энергии распада и оценки интенсивности заселения уровней ^{167}Yb позволили нам вычислить значения матричных элементов ($\log ft$) для бета-распада на уровни ^{167}Yb (см. рис. 1).

Как было показано в работе Ван Чуан-пэна и др. /10/, основное состояние ^{167}Yb имеет квантовые характеристики $5/2^-$ /523/. В /6/ были идентифицированы ротационные уровни основного состояния ^{167}Yb : 78,67 кэВ ($7/2^-$) и 178,87 кэВ ($9/2^-$). Наблюдение интенсивного гамма-перехода типа $E1$ с энергией 29,66 кэВ (28% на распад) и появление в реакции (d,t) /7/ пика, соответствующего уровню с энергией 30 кэВ, позволяет установить уровень положительной чётности с энергией 29,66 кэВ. Возможные значения спина $3/2$, $5/2$ или $7/2$. Как следует из систематики уровней деформированных ядер, вблизи состояния $5/2^-$



168 167
У^β(41) У^β

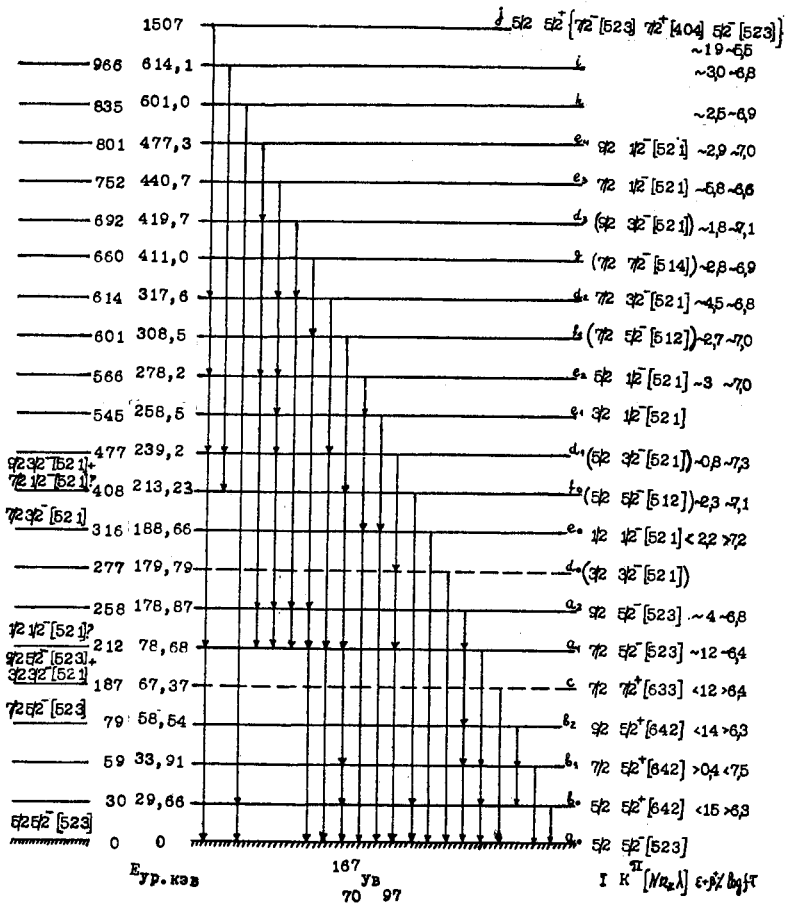


Схема распада ¹⁶⁷Lu. Гамма-переходы, идущие с данного уровня ¹⁶⁷У^β, изображены одной вертикальной линией. Каждый отдельный гамма-переход обозначается стрелкой у уровня, на который происходит этот переход. Все данные о соответствующих гамма-переходах даны в таблице 1.

Все уровни ¹⁶⁷У^β отмечены буквами латинского алфавита, члены вращательных полос обозначены одной буквой с индексами 0, 1, 2 и т.д. в порядке возрастания энергии уровней. В таблице 1 эти обозначения использованы для указания размещения переходов в схеме распада ¹⁶⁷Lu. Уровень "j" с энергией 1507 кэВ - трехквасичастичный типа { p 7/2⁻ / 523 / + p 7/2⁺ / 404 / - n 5/2⁻ / 523 / }.

/523/ находятся два состояния положительной чётности $5/2^+/642/$ и $7/2^+/633/$. Состояние $7/2^+/633/$ в реакции (d, t) возбуждается относительно слабо, поэтому уровень с энергией 29,66 кэв можно интерпретировать как состояние $5/2, 5/2^+/642/$.

Два гамма-перехода: 24,63 кэв и 33,91 кэв из-за большой их интенсивности следует разместить в нижней части схемы распада. Сумма энергий этих гамма-переходов, а также переходов 29,66 и 28,88 кэв, равна 58,54 кэв. В^{/7/} наблюдается уровень с энергией 59 кэв. Эти факты позволяют ввести два новых уровня положительной чётности 33,91 и 58,54 кэв. Характер разрядки и заселения этих уровней позволяют считать, что здесь мы имеем уровни вращательной полосы состояния $5/2^+/642/:7/2^+ - 33,91$ кэв и $9/2^+ - 58,54$ кэв. Берк и др.^{/7/} наблюдали только уровни с энергиями 29 и 59 кэв. Однако можно видеть, что и в соединениях ядер состояние $7/2^+$ этой полосы возбуждается слабо. Ротационная полоса состояния $5/2^+/642/$ в ряде ядер ^{169}Yb , ^{161}Dy , ^{157}Gd , ^{155}Sm , ^{155}Gd характеризуется значением параметра инерции $h^2/2J = 6-8$ кэв. Это значение, конечно, противоречит энергетическим расстояниям между уровнями этой полосы в ядре ^{167}Yb . Это противоречие можно объяснить взаимодействием Кориолиса. Установлено^{/14/}, что в этой области ядер кориолисово взаимодействие между уровнями положительной четности очень велико. В ядре ^{161}Er это взаимодействие нарушает даже последовательность уровней во вращательной полосе состояния $5/2^+/642/^{1,14,16/}$. Оказывается, разумное значение параметра $A = h^2/2J$ можно получить в нашем случае, если учесть взаимодействие состояний с разными K по самой простой формуле

$$E(J) = E_{0k} + A(J(J+1) + A_{2k}(-1)^{J+K} \frac{(J+K)!}{(J-K)!} A_{2k} \quad (\text{см. } ^{17,18/}).$$

Используя энергии уровневой полосы $5/2^+/642/$ схемы рис. 1, получаем $A = h^2/2J = 6,1$ кэв и $A_5 = 9,2$ эв.

В схему распада ^{167}Lu мы вводим уровни с энергиями 188,68; 213,23; 258,5; 278,2; 317,6; 411,0; 601,0 и 614,1 кэв, совпадающие с предложенными в работе Берка и др.^{/7/}. Значения спина и чётности, вытекающие из мультипольности гамма-переходов и из характера разрядки уровней, указаны на рис. 1. Слева на рис. 1 представлены для сравнения результаты Берка и др.^{/7/}.

Систематика уровней для ядер с нечётным числом нейтронов, близких к $N = 97$ показывает, что вблизи состояния $5/2^-/523/$ осуществляются также состояния $3/2^-/521/$ и $1/2^-/521/$. Основные состояния соответствующих ротационных полос в спектре тритонов из реакции $^{168}\text{Yb}(d,t)^{167}\text{Yb}$ должны проявиться интенсивными пиками. В работе Берка и др.^{/7/} в низкоэнергетической части тритонов наблюдаются два таких пика с энергиями 187 и 212 кэв. В^{/7/} первый пик интерпретируют как состояние $3/23/2^-/521/$ и второй – как состояние $1/21/2^-/521/$. Однако данные работы Берка и др.^{/7/} не противоречат интерпретации пика 187 кэв как состояние $1/21/2^-/521/$. Этот уровень преимущественно разряжается в состояние $5/25/2^-/523/$. Нами наблюдается интенсивный гамма-переход с энергией 188,68 кэв мультипольностью $E2$, который, вероятно, соответствует переходу между состояниями $1/2\ 1/2^-/521/ \rightarrow 5/2\ 5/2^-/523/$. К ротационной полосе состояния $1/2\ 1/2^-/521/$ можно отнести уровни с энергиями 258,5 кэв ($3/2/$); 278,2 кэв ($5/2/$); 440,7 кэв ($7/2/$); 477,3 кэв ($9/2/$). Для такого предположения имеются следующие аргументы. Берк и др.^{/7/} наблюдают уровни с энергиями 277 и 258 кэв. Наблюдаемые нами интенсивные $M1$ -переходы с энергиями 278,2 и 258,5 кэв, по-видимому, являются переходами из состояний $5/21/2^-/521/$ и $3/21/2^-/521/$ в основное состояние $5/25/2^-/523/$. Кроме того, в нашей работе обнаружены переходы 69,83 кэв ($M1 + E2$), 89,49 кэв ($E2$), 19,68 кэв, 182,07 кэв

(E2), 162,42 кэв и 199,12 кэв, по-видимому, являющиеся соответственно переходами между состояниями:

$$3/21/2^-/521/ \rightarrow 1/21/2^-/521/$$

$$5/21/2^-/521/ \rightarrow 1/21/2^-/521/$$

$$5/21/2^-/521/ \rightarrow 3/21/2^-/521/$$

$$7/21/2^-/521/ \rightarrow 3/21/2^-/521/$$

$$7/21/2^-/521/ \rightarrow 5/21/2^-/521/$$

$$9/21/2^-/521/ \rightarrow 5/21/2^-/521/$$

Сравнение параметров этой полосы $h^2/2J = 13,6$ кэв и $a = 0,71$ с параметрами полос $1/2^-/521/$ в соседних ядрах (см., например, ^{1,2,3,7/}) подтверждает этот вывод.

По данным работы ^{17/}, уровни со спинами 7/2 и 9/2 ротационной полосы $3/2^-/521/$ находятся при энергиях 316 и 408 кэв. Наши данные позволяют приписать ротационной полосе состояния $3/2^-/521/$ уровни с энергиями: 179,79 кэв (3/2); 299,2 кэв (5/2); 317,6 кэв (7/2) и 419,7 кэв (9/2). Этот вывод подтверждается характером гамма-переходов внутри полосы, характером разрядки этих уровней на уровни ротационной полосы состояния $5/2^-/523/$, гамма-переходами 57,60 кэв ($9/21/2/521/ \rightarrow 9/23/2/521/$) и 123,19 кэв ($7/21/2/521/ \rightarrow 7/23/2/521/$) и значением ротационного параметра $h^2/2J=11,5$ кэв.

Уровни с энергиями 213,23 и 308,5 кэв, которые разряжаются на уровни ротационных полос $5/2^-/523/$ и $5/2^+/642/$, мы интерпретируем как $5/25/2^-/512/$ и $7/25/2^-/512/$, соответственно. Параметр $h^2/2J = 13,6$ кэв

не противоречит такой интерпретации. Уровню с энергией 411,0 кэВ приписываем в согласии с характером разрядки квантовые характеристики $7/2^-/514/$.

Уровень с энергией 1507 кэВ разряжается интенсивными гамма-переходами типа E1 на уровни $7/25/2^-/523/$ и $5/25/2^-/523/$. Следовательно, это уровень положительной чётности с возможными значениями спина 5/2 или 7/2. Низкое значение $\log ft$ на этот уровень можно объяснить только разрешенным незадержанным бета-переходом. Переходы такого типа в районе $N = 97$ происходят между состояниями типа $n 5/2^-/523/ \rightarrow p 7/2^-/523/$. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что уровень с энергией 1507 кэВ содержит значительную примесь трехквартичного состояния типа $5/2^+ \{ p_1 7/2^-/523/p_2 7/2^+/404/n 5/2^-/523$. Отношение интенсивностей гамма-переходов с этого уровня на уровни полосы $5/2^-/523/$ удовлетворяет правилу Алага. Трехквартичные состояния такой же природы наблюдались нами в ¹⁶¹Tm \rightarrow ¹⁶¹Er при распаде

Л и т е р а т у р а

1. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, Т.А. Исламов, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ, 6-4393, Дубна, 1969.
2. А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, Т.А. Исламов, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-4889, Дубна, 1970.
3. А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, В. Звольска, Т.А. Исламов, Х. Штрусный. Сообщение ОИЯИ Р6-5132, Дубна, 1970.
4. А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, В. Звольска, Я. Липтак. Программа и тезисы докладов 19 ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ереван (1969) стр. 119.
5. В. Harmatz, Т. Handley, I. Mihelich. Phys. Rev. 114, 1082, 1959.

6. К.Я. Громов, А.С. Данагулян, А.Т. Стригачев, В.С. Шпинель. Ядерная физика, 1, 389, 1965.
7. D.G. Burke, B. Zeidman, B. Elbek, B. Herskind, M. Olesen. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk 35, 2 (1966).
8. A. Abdurazakov, R. Arit, L. Funke, K. Ya. Gromov, K. Homuth, K. Kaun, P. Kemnitz, S. Kamalhodjaev, G. Musiol, A. Novgorodov, H. Sodan, H. Strusny, G. Winter. Report JINR E6-4782, Dubna (1969).
9. а) Гамма-лучи. Под ред. Л.А. Слива. Изд. АН СССР (1961).
б) R.S. Hager and E.C. Seltzer. Nucl. Data AU 1-235 (1968).
10. Ван Чуан-пен. К.Я. Громов, Ж. Желев, В.В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музиоль, А.Ф. Новгородов, Хань Шу-жунь, В.А. Халкин. Препринт ОИЯИ, P-1361, Дубна, 1963. Изв. АН СССР сер. физ.
11. В.А. Агеев, К.Я. Громов, Б.С. Джелелов, Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, А.В. Кудрявцева. Доклад на 14 ежегодном совещании по ядерной спектроскопии, Тбилиси 1964.
12. N. Zeldes, A. Grill and A. Simievic. Mat. Fys. Sks. Dan. Vid. Selsk 3 No 5 (1967).
13. К.Я. Громов, З.А. Усманова, С.И. Федотов, Х. Штрусный. Сборник проблемы физики ЭЧАЯ т. 1 вып. 2, 1970. Изд-во ОИЯИ.
14. М.И. Базнат, Н.И. Пятов, М.И. Черней. Препринт ОИЯИ P4-4803, Дубна, 1969.
15. Р. Арльт, З. Малек, Г. Музиоль, Г. Пфреппер, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ P6-4235, Дубна, 1968; Изв. АН СССР, 1969.
16. K. Hegeman, S. Hjort, R. Ryde, H. Ohlson. Phys. Rev., 28B, No 10 (1969).
17. О. Бор, Б. Моттельсон. "Атомная энергия", 1963, 14, 41.
18. В.М. Михайлов. Изв. АН СССР, серия физическая, 1964, 28, 308.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 июля 1970 года.