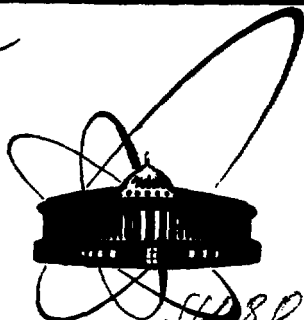


к



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

5480 03055

P6 - 12427

434

С.Бацев, Н.А.Бонч-Осмоловская, А.Будзяк,  
В.В.Кузнецов, Р.Р.Усманов

ИССЛЕДОВАНИЕ  $e\text{-}\gamma$ -СОВПАДЕНИЙ  
ПРИ РАСПАДЕ  $^{169}\text{Lu}$

1979

P6 - 12427

С.Бацев, Н.А.Бонч-Осмоловская, А.Будзяк,  
В.В.Кузнецов, Р.Р.Усманов

ИССЛЕДОВАНИЕ  $e-\gamma$ -СОВПАДЕНИЙ  
ПРИ РАСПАДЕ  $^{169}\text{Lu}$

*Направлено в "Известия АН СССР. сер. физ."*

Бацев С. и др.

P6 - 12427

Исследование  $e-\gamma$ -совпадений при распаде  $^{169}\text{Lu}$

На основе измерений  $e-\gamma$ -совпадений проанализирована схема распада  $^{169}\text{Lu}$ , известная из литературы, и построена ее новая часть.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Batsev S. et al.

P6 - 12427

Investigation of  $e-\gamma$ -Coincidences at the  $^{169}\text{Lu}$   
Decay

The  $^{169}\text{Lu}$  decay scheme, published earlier, has been analysed on the basis of  $e-\gamma$ -coincidence measurements. The scheme new section is constructed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Схема распада  $^{169}\text{Lu}$  весьма сложна, она содержит не менее 50 возбужденных состояний<sup>/1,2/</sup>. В течение многих лет предлагались различные варианты уровней  $^{169}\text{Yb}$  с энергией выше 1 МэВ<sup>/3,4 и др./</sup>. Однако измерения  $\gamma\gamma$ -совпадений<sup>/1,5/</sup> подтвердили только несколько из ранее предлагаемых уровней и позволили обнаружить 15 новых состояний. Тем не менее, в этих данных оказалось недостаточно, так как в  $\gamma\gamma$ -совпадениях не проявились совпадения с мягкими  $\gamma$ -лучами, ответственными за разрядку нижних ротационных полос  $^{169}\text{Yb}$ . Для восполнения этого пробела мы предприняли измерения спектров  $e\gamma$ -совпадений, результатам которых посвящена настоящая работа.

### УСЛОВИЯ ОПЫТА

Источники  $^{169}\text{Lu}$  получались при облучении танталовой мишени протонами с  $E_p = 660$  МэВ на синхроциклотроне ОИЯИ. Фракция лютеция выделялась из мишени хроматографическим методом и затем разделялась по изотопам на масс-сепараторе. Измерения спектров  $e\gamma$ -совпадений проводились на установке<sup>/6/</sup>, собранной на базе светосильного безжелезного  $\beta$ -спектрометра с тороидальным магнитным полем, и Ge(Li)-детектора объемом  $40 \text{ см}^3/R = 3,5 \text{ кэВ}$  при  $E_\gamma = 1,332 \text{ МэВ}$ . Временное разрешение быстрой схемы совпадений равнялось 50 нс. Исследуемые спектры накапливались в памяти 4096-канального анализатора ICA-70 с последующей передачей информации на ЭВМ "Минск-2". Обработка спектров  $\gamma$ -лучей и  $e\gamma$ -совпадений проводилась по программе "Каток"<sup>/7/</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки спектров  $e\gamma$ -совпадений <sup>169</sup>Lu представлены в табл. 1, где данные сгруппированы по совпадениям с конверсионными линиями переходов, разряжающих определенные уровни ротационных полос: L62, L75, K156, K165 соответственно уровни  $3/2^-$ ,  $5/2^-$ ,  $7/2^-$ ,  $9/2^-$  полосы  $1/2^-/521/$ ; L, M70, K90, уровни  $9/2^+$  и  $11/2^+$  полосы  $7/2^+/633/$ ; K91, K87, K110 соответственно уровни  $5/2^-$ ,  $7/2^-$ ,  $9/2^-$  полосы  $5/2^-/512/$ . Цифры в скобках отражают количественную оценку совпадений, равную отношению площади пика в совпадениях к площади  $\gamma$ -перехода. При этом практически во всех случаях случайные совпадения были примерно на два порядка слабее истинных.

Анализ экспериментальных результатов /табл. 1/ показал, что:

1. Подтверждаются все уровни, проявляющиеся в  $\gamma\gamma$ -совпадениях <sup>1/1</sup>. Разрядка некоторых из них дополняется на основании табл. 1: с уровня 1689 кэВ направлен  $\gamma$ -переход 1425 кэВ на уровень 264 кэВ ( $\gamma_{1425}$ -K165); с уровня  $9/2^-$  1554 кэВ на уровень  $9/2^+$  70 кэВ направлен  $\gamma$ -переход 1484 кэВ, мультипольность его возможна E1 <sup>2/</sup>; с уровня 1781 кэВ на уровень 264 кэВ направлен  $\gamma$ -переход 1517 кэВ ( $\gamma_{1517}$ -K165). Данный переход, таким образом, сложен и имеет двойное размещение, в обоих случаях подтверждаемый совпадениями: 1708 - 191 кэВ / $\gamma\gamma$ ,  $e\gamma$ / и 1781 - 264 кэВ / $e\gamma$ /. С уровня 1781 кэВ на уровень 70 кэВ также направлен  $\gamma$ -переход 1710 кэВ ( $\gamma_{1710}$ -L, M70). Размещение ряда  $\gamma$ -переходов, разряжающих уровни, известных из анализа спектров  $\gamma\gamma$ -совпадений, подтвердилось теперь в  $e\gamma$ -совпадениях /табл. 2/.

2. Из известных ранее уровней <sup>169</sup>Yb, не проявившихся в спектрах  $\gamma\gamma$ -совпадений <sup>1/1</sup>, подтвердились  $e\gamma$ -совпадениями: уровни  $3/2^-$  659 кэВ ( $\gamma_{560}$ -L75, L62;  $\gamma_{572}$ -L62) и  $5/2^-$  722 кэВ ( $\gamma_{622}$ -L62;  $\gamma_{635}$ -L62) полосы  $3/2^-/521/$ ; уровни  $7/2^+$  647 кэВ ( $\gamma_{576}$ -L, M70) и  $9/2^+$  707 кэВ ( $\gamma_{545}$ -K90; L, M70;  $\gamma_{636}$ -L, M70) полосы  $5/2^+/642/$ , а также состояние 1973 кэВ ( $\gamma_{895}$ -K90;  $\gamma_{1584}$ -K110).

Таблица I

Результаты  $e \gamma$ -совпадений <sup>169</sup>Lu

Конв. линия кэВ	$E_{\gamma}$ кэВ
L-62	<p> I44(2.3±1.2), I56(4.4±1.8), I65(3.9±1.9), 243+244(0.66±0.27),  248(0.7±0.4), 258(0.30±0.07), 291(0.27±0.07), 369(0.27±0.03),  378(0.24±0.02), 404(1.4±0.5), 456(0.25±0.04), 470(0.6±0.3),  482(2.3±0.7), 505(1.7±1.0), 543(1.4±1.0), 548(0.99±0.14),  560(0.8±0.4), 562(0.5±0.3), 572(1.1±0.3), 622(0.84±0.21),  635(1.3±0.4), 655(0.6±0.3), 676(0.6±0.4), 707(0.82±0.21),  (879(0.2±0.1)), I060(0.33±0.04), I068(2.9±1.5), I073(0.39±0.09),  I133(1.5±0.5), I162(1.2±0.3), I171(0.31±0.05), I180(0.9±0.5),  I184(0.33±0.05), I199(0.86±0.19), I206(1.02±0.13), I219  (1.20±0.22), I258+I260(0.3±0.1), I276(1.0±0.7), I290(0.83±0.06),  I326(0.5±0.3), I338(0.27±0.03), I350(0.5±0.3), I379(0.11±0.02),  I392(0.15±0.05), I412(0.9±0.4), I425(1.1±0.6), I437(0.21±0.07),  I466(0.20±0.02), (I497(0.2±0.1)), I517(0.25±0.06), I524  (0.17±0.04), (I575(1.5±0.8), I590(0.25±0.04), I607(1.3±0.4),  I682(0.95±0.13), I707(1.3±0.7)). </p>
L-75	<p> I44(3.6±1.8), I65(4.4±0.5), 243(3.0±1.0), 248(1.8±0.9),  291(0.9±0.3), 369(0.66±0.11), 378(0.58±0.06), 404(1.0±0.4),  456(0.7±0.1), 470(2.0±0.3), 484(2.3±0.7), 505(0.9±0.4),  543(4.7±2.5), 548(3.9±1.2), 560(1.5±0.8), 562(0.7±0.4),  622(3.0±0.8), (642(5±3)), 655(5±3), 707(3.1±0.9), I017(2.3±0.7),  I060(0.61±0.08), I068(4.3±2.2), I073(1.1±0.3), (I133(1.5±0.7)),  I162(4.3±2.1), I171(0.50±0.16), I180(4.7±2.2), I184(1.29±0.12),  I199(5±3), I206(1.4±0.4), I219(2.1±0.6), I244(2.9±1.5), I258+  I260(0.8±0.4), I272(0.7±0.2), I276(5±3), I290(4.0±0.4),  I301(5±3), I326(1.3±0.2), I338(0.80±0.08), I350(3.2±1.1),  I392(0.61±0.09), I425(6±3), I437(0.69±0.16), I466(0.53±0.04),  I517(1.00±0.16), I524(0.56±0.17), I590(0.88±0.14), I682(3±1),  I707(0.6±0.3), I763(0.6±0.2). </p>

Продолжение таблицы 1

K-156	243(2.8±1.5), 404(4.6±1.5), 505(7±4), 562(2.4±0.5), 655 (1.6±0.9), 667(4.2±2.5), 676(6±3), 1099(7±5), 1133(4.9±1.1), 1162(3.3±1.1), 1180(1.1±0.4), 1184(0.30±0.05), 1206(4.5±0.5), 1219(4.6±0.7), 1290(1.0±0.1), 1296(5.2±2.7), 1311(3.9±1.5), 1412(3.8±1.5).
K-165	222(1.9±1.1), 248(1.3±0.6), 383(1.9±0.9), 484(0.9±0.3), 543(1.4±0.7), 655(1.2±0.4), 903(1.8±1.0), 1142(2.1±1.1), (1156(1.4±0.8)), 1162(0.8±0.2), 1180(0.9±0.2), 1184(0.18±0.02), 1199(1.0±0.1), 1276(2.5±1.3), 1290(1.1±0.1), 1301(1.3±0.6), 1392(0.06±0.01), 1425(1.6±0.8), 1517(0.10±0.02).
L, M-70	207(6 ± 3 ), 227(6±3), 545(2.9±0.6), 562(2.0±0.5), 576(2.5±0.3) 617(2.7±0.8), 636(3.3±1.6), 670(1.4±0.5), 690(3.0±0.6), 725(3.4±1.0), 761(2.1±0.6), 767(3.6±1.0), 802(0.9±0.5), 815(1.9±0.8), 889(2.7±0.2), 916(2.9±0.3), 999(3.8±0.6), 1007(2.8±0.2), 1060(0.5±0.2), 1073(0.6±0.2), 1106(3.7±1.1), 1184(0.36±0.06), 1212(2.7±0.5), 1272(2.5±0.5), 1379(1.7±0.1), 1392(0.79±0.11), 1484(2.3±0.7), 1618(2.7±0.2), 1636(3.2±0.6), 1645(3.2±1.1), 1710(0.4±0.2), 1959(2.3±0.4).
K-90	227(2.3±0.6), 545(1.7±0.2), 562(1.0±0.1), (587(1.8±0.9)), 617(1.2±0.3), 659(1.2±0.5), 670(1.6±0.5), (703(0.6±0.3)), 725(3.2±0.5), 767(3.7±0.9), (895(0.5±0.3)), 908(3.0±1.5) 916(3.0±0.2), 1025(2.7±1.5), 1043(0.8±0.4), (1726(4.4±2.4)).
K-91	198(1.1±0.4), 244(1.3±0.4), 258(1.3±0.3), 291(1.7±0.3), 359(1.1±0.4), 369(1.9±0.2), 378(1.7±0.1), 456(1.8±0.2), 470(0.9±0.2), 511(0.27±0.10), 879(1.1±0.3), 1060(1.60±0.15), 1065(1.3±0.9), 1073(1.2±0.3), 1151(1.5±0.7), 1165(1.9±0.8), 1171(2.3±0.4), 1184(1.7±0.1), 1258+1260(2.0±0.6), 1272(1.5±0.4), 1326(1.8±0.3), 1338(1.50±0.15), 1379(0.70±0.07), 1392(1.40±0.14), 1429(1.1±0.4), 1437(1.1±0.2), 1466(1.60±0.12)

Продолжение таблицы 1

	I497(2.4±0.5), I502(0.9±0.3), I517(1.6±0.3), I524(1.5±0.4), I590(1.3±0.2), I763(1.7±0.5).
K-87	I91(1.07±0.07), 244(1.0±0.4), 258(1.0±0.2), 291(1.8±0.2), 359(1.2±0.3), 369(1.6±0.1), 470(0.7±0.1), I017(1.4±0.4), I060(1.1±0.1), I065(1.2±0.6), I073(1.0±0.1), II51(0.8±0.4), II65(0.9±0.4), II71(1.8±0.3), II84(1.5±0.1), I260(1.6±0.8), (I267(2.2±1.1)), I326(1.07±0.14), I379(0.60±0.14), I392(1.0±0.1), I429(1.4±0.4), I437(1.2±0.2), I502(1.1±0.4), (I630(2.7±1.4), I676(1.5±0.8).
K-110	I91(0.80±0.04), 207(1.2±0.2), 258(1.8±0.3), 278(1.0±0.3), 359(1.9±0.5), I017(1.8±0.5), I060(2.2±0.1), I073(2.30±0.15), II51(1.4±0.6), II65(2.0±0.8), I260(0.6±0.3), I267(5.0±2.5), (I318(3.1±1.5)), I326(2.6±0.4), I392(2.1±0.2), I584(1.6±0.8).

3. Данные табл. 1 указывают на существование большого числа новых состояний  $^{169}\text{Yb}$ . В табл. 3 мы приводим список этих уровней с указанием способов их разрядки и  $e\gamma$ -совпадений, на основе которых они введены.

Следует отметить, что некоторые слабые в спектрах  $\gamma$ -лучей пики более четко проявляются в спектрах совпадений, особенно в том случае, если они образуют прямой каскад. Так, например, слабый переход 248 кэВ убедительно проявился в совпадениях с  $K^{165}$  /рис. 1а/, что дало нам основание ввести при распаде  $^{169}\text{Lu}$  известный из ядерных реакций ротационный уровень 512 кэВ  $13/2^-$ ,  $1/2^-/521/^{12/}$ .

Новый уровень 886 кэВ  $9/2^+$  подкрепляется  $\gamma$ -переходом 562 кэВ сверху  $7/2^-1449 - 9/2^+886$  кэВ/, проявляющимся в спектрах  $\gamma\gamma$  и  $e\gamma$ -совпадений ( $\gamma 562 - K 90$ ;  $\gamma 562 - \gamma 725$ ;  $\gamma 562 - \gamma 815^{14/}$ ). Данный переход сложен. Второе его расположение  $7/2^-806 - 7/2^-243$  кэВ также подтверждается  $\gamma\gamma$  и  $e\gamma$ -совпадениями. Мультипольность сложного перехода  $-E2^{5/}$ . По нашим оценкам, мультипольность одного из переходов возможна  $E1$ , а второго -  $M1$ . Состояние 886 кэВ, по-видимому, является ротационной полосой  $3/2^+/651/^{11/}$ . Разрядка его, как и остальных уровней



Таблица 2

Подтверждение  $e\gamma$ -совпадений размещения ряда переходов  
в известных уровнях  $^{169}\text{Yb}$

Е $\gamma$ кэВ	Е ур нач	—	Е ур кон, кэВ	$e\gamma$ -совп.
222	487	—	264	K 165
505	748	—	243	K 156, L 75, L 62
548	648	—	99	L 75, L 62
670	832	—	161	K 90; L, M 70
675	919	—	243	K 156, L 62
707	806	—	99	L 75, L 62
908	1070	—	161	K 90
916	1078	—	161	K 90; L, M 70
999	1070	—	70	L, M 70
1165	1554	—	389	K 91, K 110, K 87
1212	1283	—	70	L, M 70
1272	1463	—	191	K 91
1311	1554	—	243	K 156
1350	1449	—	99	L 75, L 62
1379	1449	—	70	L, M 70
1502	1781	—	278	K 87, K 91
1630	1908	—	278	K 87
1636	1707	—	70	L, M 70
1645	1716	—	70	L, M 70
1676	1954	—	278	(K 87)
1682	1781	—	99	L 75, L 62

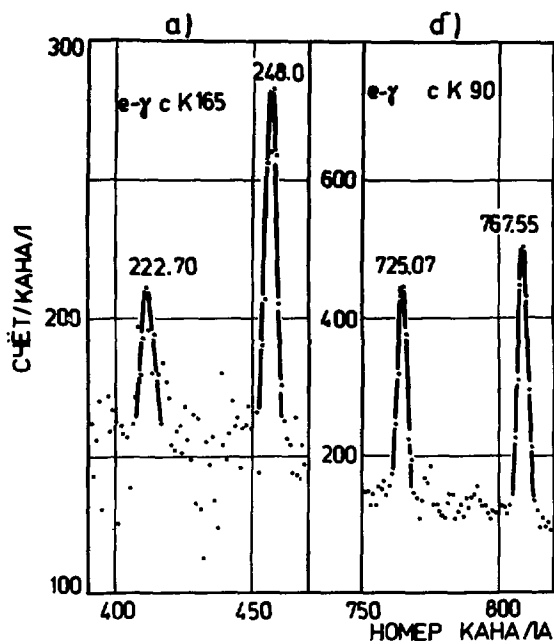


Рис. 1. /а/ Фрагмент спектра  $e\gamma$ -совпадений с К165 .  
 /б/ Фрагмент спектра  $e\gamma$ -совпадений с К90.

данной полосы, идет только на уровни полосы основного состояния. Параметр инерции, получаемый в данном случае  $A_{1,4} = 7,94$  кэВ, близок к значению  $A_{1,2} = 8,35$  кэВ для данной полосы <sup>1/</sup>.

Мы наблюдали интенсивные совпадения  $\gamma 767$  - К90 /рис. 1б/, что дало нам повод полагать, что это прямой каскад на уровень 161 кэВ  $11/2^+$ , таким образом, должен существовать уровень 929 кэВ. С него направлено еще несколько  $\gamma$ -переходов /табл. 3/, причем  $\gamma 659$  кэВ также проявляется в совпадениях с К90. В спектрах конверсии этот переход не наблюдался <sup>2/</sup>, что при заметной интенсивности его  $I_\gamma = 0,81$  <sup>5/</sup> может свидетельствовать в пользу мультипольности E1. Сверху

Таблица 3

Новые уровни  $^{169}\text{Lu} - ^{169}\text{Yb}$ , следующие из результатов  
сγ-совпадений

Е(ΔЕ)ур.кэВ	$I^{\pi}$	Е,кэВ	Мульти.	Еур. кон.кэВ	$I^{\pi}$ кон.	сγ
512.022(30)	$13/2^{-}$	247.766 а	Е2	264	$9/2^{-}$	К165, L75, L62
886.79(5)	$9/2^{+}$	815.95	Е2+М1	70	$9/2^{+}$	L, M70
		725.07	Е2+М1	161	$11/2^{+}$	К90, L, M70
911.44(8)	$5/2^{-}$	824.70	М1	86	$3/2^{-}$	
		667.59		243	$7/2^{-}$	К156
		632.79	М1, Е2	278	$7/2^{-}$	
929.07(11)	$11/2^{-}$	767.55	Е1	161	$11/2^{+}$	К90, L, M70
		659.10	(Е1)	269	$13/2^{+}$	К90
		539.37		389	$9/2^{-}$	
		406.03	М1	523	$11/2^{-}$	
1167.77(9)	$7/2^{-}, (9/2^{-})$	1068.54	Е2	99	$5/2^{-}$	L75, L62
		903.42	Е2, М1	264	$9/2^{-}$	К165
		247.2	М1	919	$9/2^{-}$	
		520.02	Е2	648	$7/2^{-}$	
1176.99(9)	$9/2^{+}$	1177.7 а	Е2, М1	0	$7/2^{+}$	
		1106.11	М1	70	$9/2^{+}$	L, M70
		1015.4 а		161	$11/2^{+}$	
		529.7	Е2, М1	647	$7/2^{+}$	
1343.67(6)	$7/2^{-}$	1343.56		0	$7/2^{+}$	
		1272.46 б	Е1	70	$9/2^{+}$	L, M70
		1244.24	М1	99	$5/2^{-}$	L75
		1099.89	Е2	243	$7/2^{-}$	К156
		1065.09	М1	278	$7/2^{-}$	К87, К91
		432.27	Е2, Е2+М1	911	$5/2^{-}$	
		272.66	Е1	1070	$7/2^{+}$	
1406.33(6)	$7/2^{-}, (9/2^{-})$	1307.20 б	Е2	99	$5/2^{-}$	
		1162.49 б	М1	243	$7/2^{-}$	К156, L75, L62
		1141.96	М1	264	$9/2^{-}$	К165
		1215.28	Е2	191	$5/2^{-}$	

Продолжение таблицы 3

		657.86	MI, E2	749	9/2 <sup>-</sup>	
		I406.23	EI	0	7/2 <sup>+</sup>	
I420.29(13)	7/2 <sup>-</sup>	I321.53 d		99	5/2 <sup>-</sup>	
		II76.48 a	ED+E2	243	7/2 <sup>-</sup>	
		II56.03		264	9/2 <sup>-</sup>	(KI65)
I426.82(8)	7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup>	II62.49 d	MI	264	2 <sup>-</sup>	KI65, L75, L62
		939.7	E2	487	11/2 <sup>-</sup>	
		II48.0 a	MI+E2	278	7/2 <sup>-</sup>	
		I037.49 a	E2	389	9/2 <sup>-</sup>	
		857.15 a	MI, E2	569	5/2 <sup>-</sup>	
		466.1 a	E2	960	7/2 <sup>-</sup>	
I444.74(6)	9/2 <sup>-</sup> , (7/2 <sup>-</sup> )	I201.0 a		243	7/2 <sup>-</sup>	
		II80.45	MI	264	9/2 <sup>-</sup>	KI65, KI56, L75
		796.93	E2	648	7/2 <sup>-</sup>	
I656.27(11)	7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup> , 5/2 <sup>-</sup>	I556.68		99	5/2 <sup>-</sup>	
		I412.39	MI	243	7/2 <sup>-</sup>	KI56, L62
		I392.27 d	E2	264	9/2 <sup>-</sup>	KI65
		I266.68 a	E2	389	9/2 <sup>-</sup>	KI10
		934.5	E2	722	5/2 <sup>-</sup>	
I694.43(7)	5/2 <sup>+</sup>	I607.51	EI	86	3/2 <sup>-</sup>	L62
		I595.2 a	EI	99	5/2 <sup>-</sup>	
		I694.38	MI	0	7/2 <sup>+</sup>	
I887.97(7)	7/2 <sup>+</sup> , 9/2 <sup>+</sup>	I817.12	MI	70	9/2 <sup>+</sup>	
		I726.30		161	11/2 <sup>+</sup>	K90
		I055.8	(E2, MI)	832	7/2 <sup>+</sup>	
		II27.1 a		761	5/2 <sup>+</sup>	
		817.6 a	E2+(MI)	1070	7/2 <sup>+</sup>	
I972.30(10)	9/2 <sup>-</sup> , (11/2 <sup>-</sup> )	I707.94	MI, E2	264	9/2 <sup>-</sup>	L75, L62
		I043.20	MI	929	11/2 <sup>-</sup>	K90

Продолжение таблицы 3

		1902.1 а	не M2	70	9/2 <sup>+</sup>	
		1810.64		161	11/2 <sup>+</sup>	
		1223.07 б		749	9/2 <sup>-</sup>	
2030.00(7)	7/2 <sup>-</sup>	2030.00	К1	0	7/2 <sup>+</sup>	
		1959.24	К1	70	9/2 <sup>+</sup>	L, M70
		1838.30		191	5/2 <sup>-</sup>	
		1751.2		278	7/2 <sup>-</sup>	
		1223.07 б		807	7/2 <sup>-</sup>	
		1109.99	М1	919	9/2 <sup>-</sup>	
		862.4 а		1167	7/2 <sup>-</sup> (9/2 <sup>-</sup> )	

Примечание: "а" - E<sub>γ</sub> соответствует данным работы [2]

"б" - γ переход размещен в схеме <sup>169</sup>Yb в двух местах

уровень 929 кэВ заселяется γ-переходами 1043 кэВ /1972 - 929 кэВ/ и 1025 кэВ (E2) /7/2<sup>-</sup> - 1954 - 929 кэВ/, также проявляющимися в совпадениях с К90. При таком расположении γ 659 кэВ и γ1025 кэВ спли уровня 929 кэВ должен быть однозначно 11/2<sup>-</sup>. Оценка вероятности β-перехода на него дала величину log ft=8,9, что соответствует значениям log ft = 8,5±0,5 для уникальных β-переходов. В расчетах одночастичных нейтронных состояний на основе потенциала Саксона-Вудса с учетом квадрупольных и гексадекапольных деформаций <sup>8/</sup> в области A=165-173 состояние 11/2<sup>-</sup>/505/ следует непосредственно за состояниями 3/2<sup>-</sup>/521/ и 3/2<sup>+</sup>/651/. В <sup>169</sup>Yb эти уровни соответственно имеют энергию 659 и 720 кэВ. Весьма вероятно, что уровень 929 кэВ является состоянием 11/2<sup>-</sup>/505/.

С нового уровня 1343 кэВ /табл. 3/ направлен γ-переход 1272 кэВ. Данный переход сложен. Второе его расположение: 7/2<sup>-</sup>, 9/2<sup>-</sup> 1463 - 5/2<sup>-</sup> 191 кэВ также подтверждается совпадениями γγ <sup>11/</sup> и eγ /табл. 2/. Мультипольность этого сложного перехода E2 <sup>5/</sup>. Оценки показали, что в случае первого распо-

ложения возможна мультипольность  $E1 \gamma 1272 \text{ кэВ}$ , а при втором -  $M1(E2)$ . Отсюда следует вывод, что спли уровни  $1463 \text{ кэВ}$  более вероятен  $7/2^-$ , а не  $9/2^-$ .

4. Данные по  $e\gamma$ -совпадениям не подтверждают ряд уровней, введенных ранее по энергетическому балансу. Так, например, наблюдаются противоречия для уровня  $1065 \text{ кэВ } 9/2^{+1-4/}$ , которому была приписана структура  $9/2^{+}/624/$ . Действительно, прямой переход с него  $\gamma 1065 \text{ кэВ}$  четко проявляется в совпадениях с  $K87$ ,  $K91$ , и, таким образом, должен быть направлен на уровень  $278 \text{ кэВ}$ . Это расположение осуществляется в новом каскаде  $1343 - 278 \text{ кэВ}$  /табл. 3/. Гамма-переход  $903 \text{ кэВ} /1065 - 161 \text{ кэВ/}$  не дает совпадений с  $K90$ , но заметен в совпадениях с  $K165$ . Это означает, что он, как весьма слабый, должен идти прямо на уровень  $264 \text{ кэВ}$ . Он размещен нами между уровнями  $1167 - 264 \text{ кэВ}$  /табл. 3/. Третий  $\gamma$ -переход  $993 \text{ кэВ}$ , разряжающий уровень  $1065 \text{ кэВ}$  на полосу основного состояния, расположен еще с  $1954 - 960 \text{ кэВ}$  с хорошим энергетическим балансом, причем уровень  $1954 \text{ кэВ}$  подтверждается  $\gamma\gamma$  и  $e\gamma$ -совпадениями. Таким образом, все перечисленное выше делает уровень  $1065 \text{ кэВ}$  слабоаргументированным. С другой стороны, состояние  $9/2^{+}/624/$  должно возбуждаться при распаде  $^{189}\text{Lu}$ . Возможно, им является уровень  $1176 \text{ кэВ}$ , проявляющийся в  $e\gamma$ -совпадениях /табл. 3/. Значение  $\log ft = 8,8$  для  $\beta$ -перехода на него не противоречит значениям вероятностей для  $N$ -запрещенных  $\beta$ -переходов.

В работе<sup>11</sup> мы ввели уровни  $1199, 1466, 1732, 2138 \text{ кэВ}$ , которые имеют не менее четырех связей с опорными уровнями, и энергии которых близки к энергиям состояний, возбуждающихся в тех или иных ядерных реакциях. Данные по  $e\gamma$ -совпадениям не подтверждают этих уровней. Действительно, наблюдаются противоречия для размещения  $\gamma 1099 \text{ кэВ } 1999 - 99 \text{ кэВ}$ , т.к. имеются совпадения  $\gamma 1099 - K156$ , и для  $\gamma 934 \text{ кэВ} /1199 - 264 \text{ кэВ/}$ , которые не проявляются в совпадениях с  $K165$ . Гамма-переход  $1223 \text{ кэВ}$  заметной интенсивности не обнаружен в совпадениях с  $K156 /1466 - 243 \text{ кэВ/}$ ;  $\gamma 659 \text{ кэВ} /1466 - 806 \text{ кэВ/}$  дает совпадения с  $K90$  и не может быть здесь расположен;  $\gamma 1367 \text{ кэВ} /1466 - 99 \text{ кэВ/}$  не проявляется в совпаде-

ниях с L75. С уровня 1732 кэВ был направлен  $\gamma$ -переход 1343 кэВ /1732 - 389 кэВ/, но он не дает совпадений с K110;  $\gamma$ 1142 кэВ /1732 - 590 кэВ/ проявляется в совпадениях с K165 и не может быть здесь расположен;  $\gamma$ 667 кэВ также дает совпадения с K165 и не может идти с 1732 - 1065 кэВ. Все перечисленные выше  $\gamma$ -переходы, кроме  $\gamma$ 1367 кэВ, расположены нами в других местах схемы согласно данным  $e\gamma$ -совпадений /табл. 3/. Что касается уровня 2138 кэВ, то гамма-переход 939 кэВ, расположенный между 2138 - 1199 кэВ, следует исключить. В результате с него остаются направленными 4 очень слабых перехода, и надежность уровня 2138 кэВ невелика.

Маловероятным оказался и уровень 2100 кэВ<sup>1,2'</sup>. Интенсивный  $\gamma$ -переход 2030 кэВ, направленный с 2100 - 70 кэВ, не проявился в совпадениях с L, M70 /и в других совпадениях тоже/. Он направлен нами на основное состояние с нового уровня 2030 кэВ /табл. 3/. Данные по  $e\gamma$ -совпадениям противоречат также размещению с него переходов 484, 1106 и 1141 кэВ. Таким образом, с него остаются направленными 4 слабых перехода, и надежность уровня 2100 кэВ весьма мала. Мы его исключаем, как и уровни 1065, 1199, 1466, 1732, 2138 кэВ.

5. Таким образом, при анализе табл. 1 нам удалось объяснить практически все наблюдаемые  $e\gamma$ -совпадения. Исключение составляют совпадения  $\gamma$ 1133 - K156,62. По их интенсивности,  $\gamma$ -переход 1133 кэВ может идти прямо на уровень 243 кэВ, но получающееся при этом состояние 1377 кэВ не подкрепляется никакими другими  $\gamma$ -переходами. Попытки объяснить эти совпадения через какой-нибудь интенсивный каскад также не дали успеха.

## ВЫВОДЫ

В схеме распада <sup>169</sup>Lu, предлагаемой нами /табл. 4/, не остается возбужденных состояний <sup>169</sup>Yb, не подтверждаемых  $\gamma\gamma$  и  $e\gamma$ -совпадениями /исключение составляют лишь головной уровень полосы 3/2<sup>+</sup>/651/ 720 кэВ, хорошо известный из реакций (п, $\gamma$ )<sup>2'</sup>/. Конечно, остался еще ряд неразмещенных слабых переходов /в рамках нашей схемы распада с суммарной интенсивностью не более 3,3% на распад <sup>169</sup>Lu /, которые

Таблица 4

Схема уровней  $^{169}\text{Yb}$ , возбуждающихся при распаде  $^{169}\text{Lu}$ .

$K^{\pi}[\pi n_{\pi}^{\pi}]$	$I^{\pi}$	$E(\Delta E)$ ур. кэВ	$\epsilon$ %	$\log ft$	подтв. совп.
$7/2^{+}[633]$	$7/2^{+}$	0			
	$9/2^{+}$	70,880(6)	~0		$\gamma\gamma, e\gamma$
	$11/2^{+}$	161,647(7)	~0		$\gamma\gamma, e\gamma$
	$13/2^{+}$	269,651(27)	~0		$(e\gamma)$
$1/2^{-}[521]$	$1/2^{-}$	24,20(2)	~0		$(e\gamma)$
	$3/2^{-}$	86,930(24)	~0		$e\gamma$
	$5/2^{-}$	99,236(21)	~0		$e\gamma$
	$7/2^{-}$	243,821(17)	~0		$\gamma\gamma, e\gamma$
	$9/2^{-}$	264,256(23)	~0		$\gamma\gamma, e\gamma$
	$11/2^{-}$	487,028(22)	~0		$\gamma\gamma, e\gamma$
	$13/2^{-}$	512,022(30)	~0		$e\gamma$
$5/2^{-}[512]$	$5/2^{-}$	191,216(6)	2.2	8.5	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$7/2^{-}$	278,594(9)	1.3	8.7	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$9/2^{-}$	389,526(11)	<1.0	>8.7	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$11/2^{-}$	523,070(16)	0.17	9.4	$\gamma\gamma, e\gamma$
$5/2^{-}[523]$	$5/2^{-}$	569,836(16)	1.1	8.6	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$7/2^{-}$	647,848(16)	1.8	8.4	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$9/2^{-}$	748,98(4)	0.59	8.8	$\gamma\gamma, e\gamma$
$5/2^{+}[642]$	$5/2^{+}$	590,70(9)	0.48	9.0	$\gamma\gamma$
	$7/2^{+}$	647,31(4)	0.47	8.9	$e\gamma$
	$9/2^{+}$	707,08(6)	0.56	8.8	$e\gamma$
$3/2^{-}[521] +$	$3/2^{-}$	659,53(13)	<0.3	>9.1	$e\gamma$
	$5/2^{-}$	722,20(6)	0.10	9.6	$e\gamma$
$1/2^{-}[521] \text{ } ^{9}_{22}$	$7/2^{-}$	806,97(13)	0.44	8.9	$\gamma\gamma, e\gamma$
	$9/2^{-}$	919,82(10)	~0.1	9.5	$\gamma\gamma, e\gamma$



Продолжение таблицы 4

	3/2 <sup>+</sup>	720.00(8)	<0.18	>9.3	
3/2 <sup>+</sup> [66I] +	5/2 <sup>+</sup>	761.75(3)	0.25	9.2	II, eJ
7/2 <sup>+</sup> [633] Q <sub>22</sub>	7/2 <sup>+</sup>	832.038(28)	0.19	9.2	II, eJ
	9/2 <sup>+</sup>	886.79(5)	0.32	9.0	II, eJ
1/2 <sup>-</sup> [510]	5/2 <sup>-</sup>	911.44(8)	0.11	9.4	eJ
11/2 <sup>-</sup> [506]	11/2 <sup>-</sup>	929.07(11)	0.33	8.9	eJ
7/2 <sup>-</sup> [514]	7/2 <sup>-</sup>	960.628(18)	24	7.0	II, eJ
	9/2 <sup>-</sup>	1078.333(29)	3.0	7.8	II, eJ
7/2 <sup>+</sup> [633] Q <sub>20</sub>	7/2 <sup>+</sup>	1070.82(4)	0.75	8.4	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup> , (9/2 <sup>-</sup> )	1167.77(9)	0.35	8.7	eJ
(9/2 <sup>+</sup> [624])	9/2 <sup>+</sup>	1176.99(9)	0.27	8.8	eJ
	7/2 <sup>-</sup>	1283.30(5)	2.1	7.9	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup>	1343.67(6)	1.1	8.2	eJ
	7/2 <sup>-</sup> , (9/2 <sup>-</sup> )	1406.33(6)	0.50	8.4	eJ
1/2 <sup>-</sup> [521] Q <sub>20</sub>	7/2 <sup>-</sup>	1420.29(13)	0.14	9.0	(eJ)
	7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup>	1426.82(8)	0.42	8.4	eJ
	9/2 <sup>-</sup> , (7/2 <sup>-</sup> )	1444.74(6)	0.32	8.6	eJ
(7/2 <sup>-</sup> [503])	7/2 <sup>-</sup>	1449.78(3)	14	6.9	II, eJ
	9/2 <sup>-</sup>	1554.89(5)	1.5	7.7	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup> , (9/2 <sup>-</sup> )	1463.40(4)	4.8	7.3	II, eJ
	9/2 <sup>-</sup>	1540.69(4)	0.72	8.1	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup>	1565.62(8)	0.35	8.4	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup> , 5/2 <sup>-</sup>	1656.27(11)	0.38	8.2	eJ
	5/2 <sup>+</sup>	1658.07(4)	4.3	7.1	II, eJ
	7/2 <sup>+</sup>	1715.99(4)	1.6	7.5	II, eJ
	7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup>	1689.29(6)	1.6	7.5	II, eJ
	5/2 <sup>+</sup>	1694.43(5)	0.11	8.7	eJ
	7/2 <sup>+</sup> , 9/2 <sup>+</sup>	1707.79(10)	0.38	8.1	(II), eJ
	7/2 <sup>-</sup> , (9/2 <sup>-</sup> ; 5/2 <sup>-</sup> )	1708.47(9)	0.67	7.9	II, eJ

Продолжение таблицы 4

7/2 <sup>-</sup>	1791,72(6)	3,4	7,1	γγ, еγ
7/2 <sup>+</sup> , 9/2 <sup>+</sup>	1887,97(7)	0,39	7,8	еγ
5/2 <sup>+</sup> , 7/2 <sup>+</sup>	1908,63(8)	2,0	7,1	γγ, еγ
7/2 <sup>-</sup>	1954,63(22)	0,62	7,5	γγ, еγ
9/2 <sup>-</sup>	1972,30(10)	0,43	7,6	еγ
7/2 <sup>-</sup> , 9/2 <sup>-</sup>	1973,98(20)	0,83	7,4	еγ
7/2 <sup>-</sup>	2030,00(7)	1,1	7,1	еγ

должны разряжать слабовозбужденные уровни  $^{169}\text{Yb}$ , однако при большом количестве нижних уровней  $^{169}\text{Yb}$  надежность введения их невелика.

Для уточненной и дополненной нами схемы распада  $^{169}\text{Lu}$  был пересчитан по сравнению с  $^{169}\text{Lu}$  баланс интенсивностей. В табл. 4 приведены вероятности заселения уровней  $^{169}\text{Yb}$  в процентах на распад  $^{169}\text{Lu}$  и соответствующие значения вероятностей  $\beta$ -переходов на них.

В целом, в схеме распада  $^{169}\text{Lu}$ /табл. 4/ содержится 60 уровней, из них 31 состояние новое, 15 из которых обнаружены нами по  $\gamma\gamma$ -совпадениям  $^{169}\text{Lu}$  и 16 - по  $e\gamma$ -совпадениям в настоящей работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1978, 42, №11, с.2271.
2. Балалаев В.А., Джелепов Б.С., Тер-Нерсисянц В.Е. Изотопные ядра с массовым числом  $A = 169$ . "Наука", Л., 1978.
3. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1973, 37, №5, с.972.
4. Джелепов Б.С. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1972, 36, №1, с.56.
5. Бацев С. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1978, 42, №11, с.2262.

6. Кузнецов В.В. и др. Тезисы докладов XXVIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Алма-Ата, 1978, с.508.
7. Гаджоков В. ПТЭ, 1970, 5, с.82.
8. Гареев Ф.А. и др. ЭЧАЯ, 1973, 4, вып. 2, с.357.

**Рукопись поступила в издательский отдел  
27 апреля 1979 года.**

# Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,  
если они не были заказаны ранее.

Р1,2-7642	Труды Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973.	7 р. 15 к.
Д1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
Р1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
Д6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
Д13-9164	Международное совещание по методике проволоочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д13-9287	Труды VIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1975.	5 р. 00 к.
Д7-9734	Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов /Дубна, 1975/.	3 р. 00 к.
Д2-9788	Нелокальные, нелинейные и неэргодичные теории поля /Алушта, 1976/.	2 р. 40 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д10,11-11264	Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.

Д4-11874	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Ахунта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,  
 издательский отдел Объединенного института ядерных исследований



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Заказ 26588. Тираж 480. Уч.-изд. листов 1,12.  
Редактор Б.Б.Колесова.  
Корректор Т.Е.Жильцова.

Подписано к печати 5.6.79 г.