

A-828

19/VIII-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

6 - 4636



Р.Арльт, К.Я.Громов, З.Малек, Г.Музиоль,
Г.Пфреппер, Х.Штрусный

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

УРОВНИ ^{168}Yb ИЗ РАСПАДА ^{168}Lu (7 МИН)

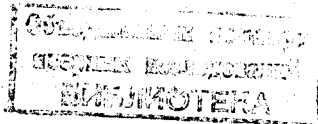
1969

6 - 4636

Р.Арлт, К.Я.Громов, З.Малек, Г.Музиоль,
Г.Пфреппер, Х.Штрусный

УРОВНИ ^{168}Yb ИЗ РАСПАДА ^{168}Lu (7 МИН.)

Направлено в "Известия АН СССР"



7904/2 чф.

1. В в е д е н и е

Распад изотопа ^{168}Lu впервые изучался в работах /1,2/ с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра. Было обнаружено несколько гамма-переходов с энергиями 88, 233, 710, 900, 987, 1410, 1800 и 2130 кэВ и измерен период полураспада этого изотопа, который оказался равным 7,1 мин.

В работе /2/, кроме того, измерена граничная энергия спектра позитронов (1200 ± 50) кэВ и определено отношение интенсивностей электронного захвата и распада с испусканием позитронов $k/\beta^+ \approx 8$. Позднее Хармац и др. /3/ изучали спектр конверсионных электронов, возникающих при распаде цепочки $^{168}\text{Hf} \xrightarrow{25 \text{ мин}} ^{168}\text{Lu} \xrightarrow{7,1 \text{ мин}} ^{168}\text{Yb}$ и наблюдали гамма-переходы, происходящие между уровнями ротационной полосы основного состояния Yb : 87,9 кэВ (2^+); 287 кэВ (4^+) и 586 кэВ (6^+). Недавно Шарвет и др. /4/ исследовали спектр гамма-лучей ^{168}Lu с помощью $\text{Ge(Li)}\gamma$ -спектрометра, γ - γ -совпадения ($\text{NaJ(Tl)} - \text{Ge(Li)}$) и измерили граничную энергию β^+ -спектра $[(2,50 \pm 0,06)]$ МэВ. При этом наблюдались также компоненты позитронного спектра с граничными энергиями (1535 ± 30) и 817 кэВ. Отно-

сительные интенсивности этих компонент составляют 1,5:7:105, соответственно. Много важных сведений о возбужденных уровнях ^{168}Yb получено при исследовании кулоновского возбуждения этого ядра ^{/5,6/} и при изучении спектра гамма-лучей ^{/7/} и неупругого рассеяния дейтронов ^{/8/} в реакции (d, d') на ^{168}Yb . Некоторые из этих уровней должны заселяться и при распаде ^{168}Lu . В настоящей работе продолжены исследования схемы распада ^{168}Lu ^{/9/}, получены наиболее полные сведения о гамма-спектре и изучен позитронный спектр ^{168}Lu .

2. Условия экспериментов, результаты измерений

Для получения радиоактивных изотопов мы используем реакции глубокого расщепления. В этих исследованиях (программа ЯСНАПП) ^{x/} мишень облучалась на внешнем пучке синхроциклотрона Объединенного института. Энергия протонов 660 Мэв.

Облученная мишень доставлялась к месту проведения химических операций с помощью пневмопочты за ≈ 5 сек ^{/10/}. Оказалось, что изотоп ^{168}Lu (7,1 мин) можно получить наиболее чистым от загрязнений соседними изотопами лютетия, выделяя его из гафния:



В качестве мишени использовалась тонкая суспензия Ta_2O_5 в растворе шавелевой кислоты (0,5 моль/л.). Продукты реакций выбивались при облучении в раствор и это позволяло быстро, через 4 минуты после конца облучения выделить образовавшиеся изотопы гафния. Время накопления лютетия в гафнии составляло 15 минут. Время выделения накопившегося дочернего лютетия ≈ 2 мин.

Использованные радиохимические методы описаны в работе ^{/11/}. Таким образом, через 21 мин после конца облучения начинались измерения спектров излучения этих препаратов.

^{x/} Ядерная спектроскопия на пучке протонов.

Оставшийся препарат гафния (фракция гафния) использовался для получения второго источника ^{168}Lu . Для этого через 28 минут после конца облучения фракция гафния очищалась от продуктов распада и вторично накопившийся ^{168}Lu выделялся через 12 минут (через 40 мин после конца облучения).

Так как загрузка электронного тракта использованных спектрометров ограничивалась мертвым временем 4096-канального анализатора (частота кодовых импульсов 12 мГц), измерения с одним источником не позволяли получать достаточную статистическую точность. Поэтому в каждом опыте проводилось несколько облучений (до семи раз). Измеренные спектры источников из разных облучений суммировались в памяти анализатора. Измерения каждого источника производились в течение трех периодов полураспада ^{168}Lu (21 мин). Через 1-2 часа после окончания каждой серии измерений измерялся гамма-спектр всех использованных в этих опытах источников. Этот спектр представлял собой фоновый спектр, возникавший при распаде более долгоживущих изотопов лютеция (^{169}Lu и др.).

Гамма-спектры изучались с помощью гамма-спектрометра с коаксиальными Ge(Li) -детекторами с чувствительным объемом 10 и $6,4\text{ см}^3$ и энергетическим разрешением 6,0 и 4,5 кэВ для гамма-линии 1332 кэВ ^{60}Co , соответственно.

Спектр позитронов ^{168}Lu изучен с помощью сцинтилляционного бета-спектрометра с антраценовым кристаллом ($\phi 20 \times 20\text{ мм}^3$) при энергетическом разрешении 14% на К-линии 660 кэВ ^{137}Cs .

Спектрометрическая аппаратура и методы обработки спектров подробно описаны в /12/.

Один из полученных описанным способом спектров гамма-лучей ^{168}Lu представлен на рис. 1, 2. В таблице 1 приведены результаты измерения энергий и интенсивностей гамма-лучей ^{168}Lu . Получен-

Таблица I

Результаты исследования γ -спектра ^{166}Lu

Наша работа		работа /4/	
E_γ	I_γ	E_γ	I_γ
1	2	3	4
68 \pm 2	1 \pm 1	-	-
75 \pm 2	7 \pm 3	77 \pm 2	0,5
83 \pm 2	4 \pm 2	-	-
88,0 \pm 0,5	85 \pm 13	88 \pm 0,5	270 \pm 30
101,3 \pm 0,8	5 \pm 1	99,5 \pm 1,5	6 \pm 1
114 \pm 2	5 \pm 2	112 \pm 0,8	390 \pm 50
120 \pm 2	4 \pm 2	123 \pm 1	10 \pm 1
(126 \pm 2)	4 \pm 2	-	-
131 \pm 2	4 \pm 2	130	6 \pm 1
148,5 \pm 0,8	5 \pm 1	147	15 \pm 2
-	-	157 \pm 1	53 \pm 8
-	-	179	45 \pm 10
		192 \pm 1,5	22 \pm 3
199,0 \pm 0,7	180 \pm 20	198 \pm 0,8	760 \pm 70
223 \pm 1	2	223 \pm 1	40 \pm 5
227 \pm 1	3	229 \pm 1,5	100 \pm 3
248 \pm 2	6 \pm 2	246 \pm 1,5	5 \pm 1
267 \pm 7 \pm 2	7 \pm 2	268 \pm 1,5	12 \pm 2
(280 \pm 2)	8 \pm 3	286 \pm 2	1
299,0 \pm 0,8	17 \pm 2	298 \pm 0,6	180 \pm 15
(309 \pm 2)	3 \pm 2	311 \pm 2	3
--	-	326 \pm 1	29 \pm 4

I	2	3	4
348±I	9±3	347±0,8	74±8
(380±I)	4±2	-	-
385±I	4±2	385±I	9±I
394±2	4±2	-	-
(402±2)	2±I	402	22±4
468±I	7±2	-	-
483±2	3±2	490	-
5II, 5±0,7	I25	5II	225±20
(538±2)	3±2	540±I	45±4
606±I	8±2	605±I,5	I0±I
624±2	9±2	-	-
650±I	II±2	650	-
697±2	3±3	700	-
(7I6±2)	2±2	7I8±I,5	9±2
730±I	I2±3	732±I	II±I
752, 5±0,8	I3		
780, 2±0,8	24±3	782±I,5	25±4
808±2	6±2	806±2	I
-	-	832±2	I
853, 7±0,7	3I±4	853±I,7	20
-	-	860±I,7	20
885, 2±0,7	90±9	888±I	97±8
896, 8±0,7	I00±I0	898±I	I00±I0
902±I	8±2	-	-
(947±I)	I0±2	-	-
(965±I)	5±I	960	-
979, 6±0,7	I30±2I	982±0,8	I65±30
984, 4±0,9	77±I3	986±I	75±I5

I	2	3	4
989±1	10±2	-	-
997±1	5±2	999±2	I
-	-	I008	-
I015,8±0,9	I2±2	I0I6±I	65±7
I032,5±0,7	70±8	I033±I,5	50±5
I072,0±0,8	24	I072±2	I
I083,9±0,7	35±4	I084±I,5	33±4
(II04±I)	3±2	II05	-
II37,4±0,7	80±9	II37±I,5	80±10
(II46±2)	2±2	II45	-
II65,5±0,9	7±2	II62	25±5
II88±I	5±2	II85±	50±5
II9I±I	5±2	-	-
II95±I	5±2	-	-
1220,4±0,7	69±7	I2I8±I	80±8
I233,5±0,7	2I±2	I233±I,5	30±5
I256,7±0,8	9±2	I256±I,5	10±I,5
I265,0±	19±3	-	-
I289±2	2±2	-	-
I302±2	3±2	-	-
I3I2±2	7±2	I3I0±2	25±2
I338,2±0,7	27±4	I336±I	23±3
I360±2	3±2	-	-
I364,1±0,7	25±4	I364±I,5	28±4
I388±I	6±2	I387±I	29±4
I393±I	6±2	-	-
I420,9±0,7	67±7	I4I8±2	10±6

1	2	3	4
-	-	I447+I,5	8+I
I468,0+0,9	I6+2	I404+I	I4+2
-	-	I488+I	45+5
I509+I	I2+4	I5I2	IO
(I529+2)	2+2	I526	IO
-	-	I536	I
-	-	I558	-
-	-	I558	-
-	-	I586	-
(I645+2)	3+2	I642	-
-	-	I653	-
-	-	I667	-
-	-	I687+I,5	I7 +8
-	-	I705+2	I
-	-	I7I6+2,5	I
-	-	I727+I,5	8+I
-	-	I779+I,5	8+I
I850+2	8+2	I848+2	2+I
-	-	I868+2,5	I
-	-	I897+2	I
-	-	I897+2	I
-	-	I905+2,5	I
I9I6,8+0,9	7+3	I9I7+2	2+I
I969+2	8+2	I969+2	I
-	-	2040+2	2+I
-	-	2028+2	I

I	2	3	4
-	-	2058 _{±2}	I
(2069 _{±2})	3 _{±2}	2072	-
(2093 _{±2})	3 _{±2}	-	-
2116 _{±1}	8 _{±2}	2118 _{±2}	3 _{±1}
2141,0 _{±0,7}	18 _{±3}	2144 _{±1,5}	13 _{±15}
-	-	2171 _{±3}	I
2278 _{±3}	5 _{±2}	2277 _{±3}	I
2340	7 _{±3}	-	-
2355 _{±2}	7 _{±3}	-	-
-	-	2418 _{±3}	I

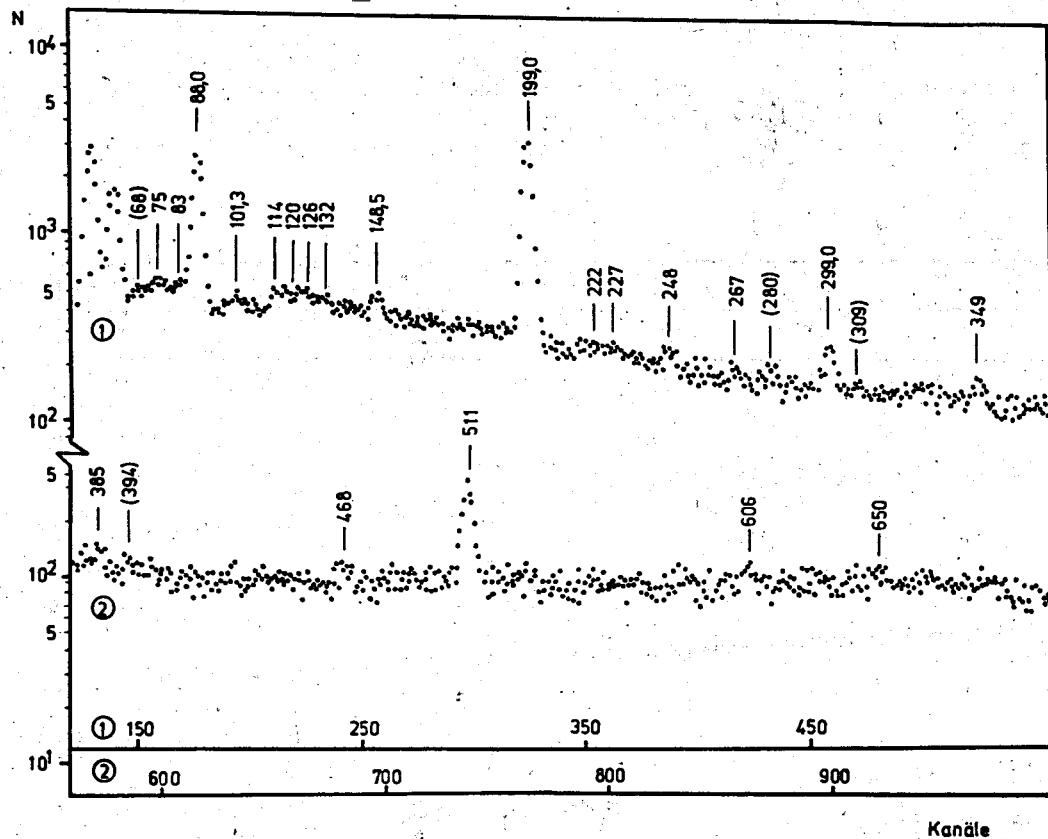


Рис.1. γ -спектр распада изотопа ^{168}Lu в области энергии от 60 до 700 кэв, измеренный с помощью детектора типа $\text{Ge}(\text{Li})$ с чувствительным объемом $6,4 \text{ см}^3$.

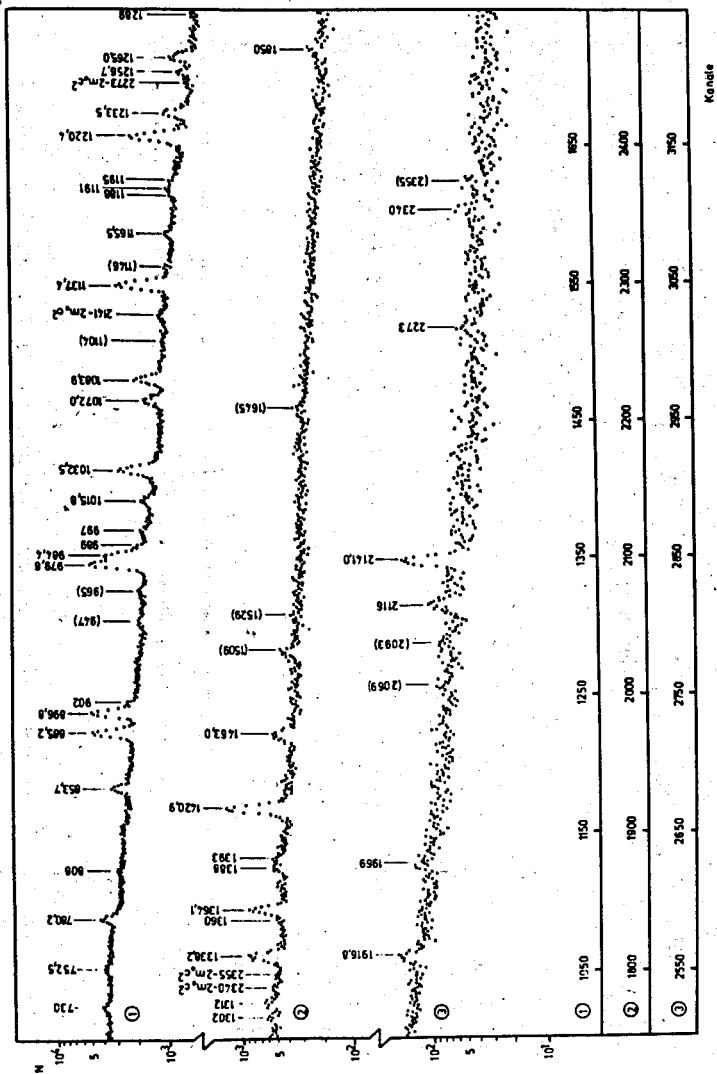


Рис.2. γ -спектр распада изотопа ^{168}Lu в области энергии от 700 до 2500 кэв, измеренный с фильтром 3 мм Pb + 1 мм Cd + 1 мм Cu с помощью детектора типа Ge(Li) с чувствительным объемом 6,4 см³.

ные данные хорошо согласуются с результатами предварительных исследований распада ^{168}Lu , выполненных в работах /1,2,3/. Значительные разногласия имеются с результатами работы /4/ (см. табл. 1). При этом, если наблюдающееся различие (2-3 раза) в интенсивностях некоторых интенсивных гамма-переходов в области энергий меньше 600 кэВ можно было бы объяснить систематической ошибкой, вносимой кривой калибровки по интенсивностям, то разницу в интенсивностях ряда пиков до 10 и более раз (например, гамма-лучи с энергиями 112, 229, 298, 347, 402, 1016, 1185, 1483 кэВ) этим объяснить нельзя. Можно указать две возможные причины имеющихся разногласий. а). Используемый в /4/ метод получения изотопа ^{168}Lu - реакция $^{169}\text{Tm}(\alpha, n)$ не позволяет получить изотоп ^{168}Lu так чисто, как это утверждают авторы /4/. б) В использованной реакции наряду с основным состоянием ^{168}Lu образуется изомерное состояние ядра с периодом полураспада, близким к периоду полураспада семиминутного ^{168}Lu . Очевидно, что наш путь получения изотопа ^{168}Lu , как дочернего вещества при распаде ^{168}Hf , позволяет весьма надежно выделить семиминутный ^{168}Lu . У нас нет также сомнений в правильности нашей кривой градуировки по интенсивностям. Таким образом, можно считать, что в настоящей работе получены наиболее полные и достоверные сведения о гамма-лучах ^{168}Lu .

При изучении спектра позитронов обнаружены две компоненты с граничными энергиями (2,7+0,3) мэВ и (1,5+0,3) мэВ (рис. 3). Интенсивности позитронов в процентах на распад оценены по интенсивности аннигиляционного пика с использованием схемы распада ^{168}Lu (рис.4) как $\approx 9\%$ для компоненты 2,7 МэВ и $\approx 5\%$ для компоненты с энергией 1,5 МэВ. В связи с тем, что в области энергий, меньших 1 мэВ, в спектр электронов, измеренный с помощью антраценового кристалла, существенный вклад вносят гамма-лучи, мы не могли обнаружить

компоненты позитронов с граничной энергией меньше 1 мэв. Однако мы оцениваем верхний предел компоненты позитронов с энергией около 800 кэв в $\approx 0,2\%$ на распад. Вклад гамма-лучей в компоненты позитронов с $E_{гр.} = 2,7$ и $1,5$ мэв пренебрежимо мал. Таким образом, если наши данные о граничных энергиях позитронов при распаде ^{168}Lu находятся в согласии с результатами работы /4/, то данные об относительных интенсивностях компонент позитронов сильно противоречат друг другу.

3. Схема распада ^{168}Lu

При построении схемы распада ^{168}Lu ($T_{1/2} = 7,1$ мин) (рис.4) мы исходили из наших результатов изучения спектров гамма-лучей и позитронов ^{168}Lu и результатов изучения возбужденных состояний ядра ^{168}Yb в реакции (d, d') /7,8/. Ввиду больших разногласий между нашими данными о гамма-лучах и позитронах ^{168}Lu и данными работы /4/, мы не использовали сведения о гамма-лучах и позитронах, полученные в этой работе. Принимались во внимание основные результаты исследований гамма-гамма совпадений работы /4/.

Построение схемы распада и интерпретация возбужденных состояний ^{168}Yb затрудняются тем, что почти ничего не известно о мультипольностях гамма-переходов. Из-за малого периода полураспада спектр конверсионных электронов ^{168}Lu не изучался. Другие методы определения мультипольностей также не применялись.

Ряд обнаруженных нами гамма-переходов хорошо размещался между уровнями ротационной полосы основного состояния (2^+ , 4^+ и 6^+) и полосы гамма-вибрационного состояния (2^+ , 3^+ , 4^+ и 5^+), введенной при исследованиях реакции (d, d') /7,8/. Интенсивности переходов между этими уровнями находятся в хорошем согласии с обычным для четно-четных деформированных ядер характером разрядки.

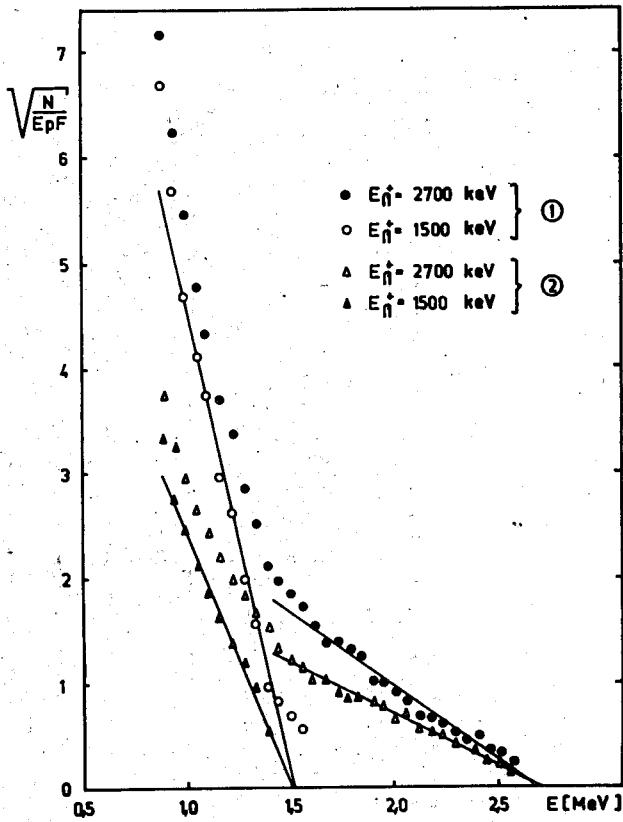


Рис.3. График Ферми-Кюри β^+ -спектра распада изотопа ^{168}Lu ("2" был измерен 14 мин после "1").

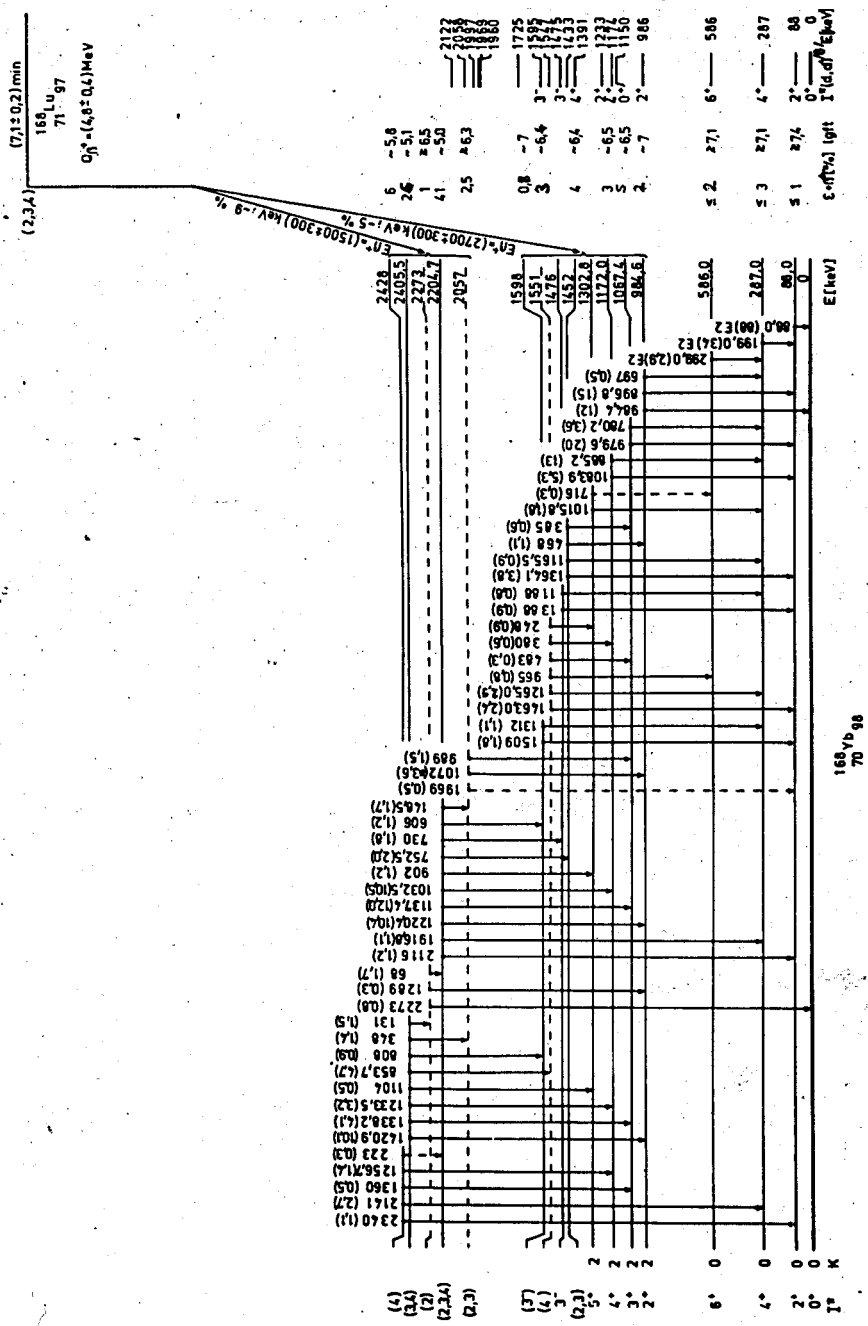


Рис.4. Схема распада изотопа ^{166}Lu .

Используя наши данные об энергиях и интенсивностях гамма-переходов, можно ввести в схему распада ^{168}Lu уровни, совпадающие по энергии с уровнями ^{168}Yb , обнаруженными в ядерных реакциях ^{18}O : 1476 кэВ (3^-); 1598 кэВ (3^-) и 2057 кэВ ($2,3$). Хорошее совпадение сумм энергий гамма-переходов и энергий уровней (в пределах ± 1 кэВ) позволяет ввести новые уровни ^{168}Yb с энергиями: 1452,1; 1551; 2204,5; 2273; 2405,5 и 2428 кэВ. Возможные значения спина и четности, вытекающие из характера разрядки введенных уровней, указаны на схеме рис. 4. В общей сложности в схеме распада были размещены 54 из 78 экспериментально обнаруженных гамма-переходов распада ^{168}Lu .

Анализ интенсивностей гамма-переходов между уровнями ^{168}Yb (рис.4) приводит к заключению, что распад ^{168}Lu происходит в основном на уровни ^{168}Yb в областях 1200-1400 кэВ и 2200-2400 кэВ. В связи с этим обнаруженные нами компоненты позитронов, по-видимому, также связаны с β^+ -распадом ^{168}Lu на эти уровни. Таким образом, компонента позитронов с граничной энергией (2700+300) кэВ представляет собой распад ^{168}Lu на уровни гамма-вибрационной полосы ^{168}Yb и энергия распада $^{168}\text{Lu} - ^{168}\text{Yb}$ равна (4,8+0,5) МэВ. Это значение хорошо совпадает с полуэмпирической оценкой разности масс, равной 4,4 МэВ 13 . Полученное значение разности масс и оценки интенсивностей заселения уровней позволяют определить значения $\log ft$ для распада на уровни ^{168}Yb (см. рис.4). При оценке интенсивности заселения уровней ^{168}Yb было принято, что интенсивность гамма-переходов в основное состояние ^{168}Yb равна 100% распадов ^{168}Lu , т.е. бета-распада в основное состояние нет. При распаде ^{168}Lu возбуждаются уровни ротационных полос основного и гамма-вибрационного состояний с высокими значениями (6^+ и 5^+) спина. Это позволяет исключить из числа возможных значений спина основного

состояния ^{168}Lu значения 0 и 1. Возможными являются значения спина 2, 3 и 4.

Низкие значения $\log ft$ для бета-распада на уровни 2204,7 кэВ ($\log ft \approx 5,2$) и 2405,5 кэВ ($\log ft \approx 5,2$) могут быть связаны только с разрешенным незадержанным β^- переходом. Переходы такого типа в области редкоземельных деформированных ядер могут быть связаны с переходами типа

$$n \frac{5^-}{2} [523] \rightarrow p \frac{7^-}{2} [523] \quad \text{и} \quad n \frac{7^-}{2} [514] \rightarrow p \frac{9^-}{2} [514].$$

Это обстоятельство позволяет высказать некоторые соображения о структуре основного состояния ^{168}Lu и состояний с энергией 2204,7 и 2405,5 кэВ ^{168}Yb . Существуют две возможности. Или в состояниях 2204,7 и 2405,5 кэВ значительную часть составляют двухквазичастичные состояния, включающие в себя одноквазичастичные состояния, связанные с (au) -бета-переходами, а основное состояние ^{168}Lu должно включать в себя соответствующее парное одноквазичастичное состояние. С этой точки зрения мы считаем возможным для основного состояния ^{168}Lu следующие конфигурации:

$$3^- \left\{ p \frac{1^+}{2} [411], n \frac{5^-}{2} [523] \right\} \quad 3^+ \left\{ p \frac{1^-}{2} [541], n \frac{5^-}{2} [523] \right\}$$

и для двухквазичастичных уровней

$$\left\{ p_1 \frac{1^+}{2} [411] \pm p_2 \frac{7^-}{2} [523] \right\} \quad \left\{ p_1 \frac{1^-}{2} [541] \pm p_2 \frac{7^-}{2} [523] \right\}.$$

Первое из этих состояний по расчетам Пятова и Соловьева /14/ ожидается при энергии 2200 кэВ.

Отметим здесь, что в обоих случаях нижний уровень двухквазичастичного (p_1, p_2) -мультиплета должен по правилу Галахера иметь значение спина 4. Это плохо согласуется с экспериментальными данными, так как наиболее вероятное значение спина для уровня с энергией 2204,5 кэВ равно трем.

Другая возможность обеспечить разрешенный незадержанный характер бета-перехода на уровни 2405,5 и 2204,7 кэв - это предположение о четырехквaziчастичной природе этих уровней. Так, например, эти уровни могут включать в себя значительную примесь (более 30%) состояний типа

$$3^- \{ p_1 \frac{1^-}{2} [541], p_2 \frac{7^-}{2} [523], n_1 \frac{5^-}{2} [523], n_2 \frac{5^+}{2} [642] \}$$

или

$$3^+ \{ p_1 \frac{1^+}{2} [411], p_2 \frac{7^-}{2} [523], n_1 \frac{5^-}{2} [523], n_2 \frac{5^+}{2} [642] \},$$

а структура основного состояния $^{168}\text{Lu} - 2^- \{ p \frac{1^-}{2} [541] - n \frac{5^+}{2} [642] \}$ или $2^+ \{ p \frac{1^+}{2} [411] - n \frac{5^+}{2} [642] \}$, соответственно, и тогда разрешенный незадержанный переход будет осуществляться за счет превращения $p \frac{7^-}{2} [523] \rightarrow n \frac{5^-}{2} [523]$.

Мы не будем здесь останавливаться на более подробном анализе свойств уровней ^{168}Yb , так как экспериментальных данных о них пока немного. Анализ свойств коллективных состояний был выполнен в работах /7,8/. Заметим, что из наших данных для параметра \bar{z}_2 , учитывающего смешивание вращательных полос основного и гамма-вибрационного состояния, мы получили значение $\bar{z}_2 = 0,05 \pm 0,02$ в согласии с $\bar{z}_2 = 0,07 \pm 0,01$ по /7/.

Авторы глубоко признательны Н.И. Пятову за полезные обсуждения полученных результатов и сотрудникам измерительного центра ЛЯП за обеспечение непрерывной работы анализаторной техники.

Л и т е р а т у р а

1. R.B.Wilson, M.L.Pool. Phys.Rev., 118, 227 (1960).

2. E.R.Merz, A.A.Caretto. Jr. Phys.Rev., 122, 1558 (1961).
3. B.Harmatz, T.H.Handley. Nucl.Phys., 81, 481 (1966).
4. A.Charvet, R.Chery, C.R.Acad.Sc.Paris t. 226 B1625; (1968);
E.Pehlivanian, G.Marguir, A.Demeyer, R.Berand, R.Chery.
Journal de Physique, Suppl. Nr. 1 (1968), C1-122. A.Charvet,
G.Marguvi, R.Chery. Submitted to Nucl.Phys.
5. G.B.Hansen, B.ElbeK, K.A.Hagemann, W.F.Hornyak. Nucl. Phys.,
47, 529 (1963).
6. H.Morinaga. Nucl. Phys., 75, 385 (1966).
7. R.Graetzer, G.B.Hagemann, B.ElbeK. Nucl.Phys., 76, 1 (1966).
8. D.G.Buvke and B.ElbeK. Mat. Fys. Skr. Dan. Vid. Selsk. 36,
No. 6 (1967).
9. R.Arlt, Z.Malek, G.Musiol, G.Pfrepper, H.Strusny. International
Symposium on Nuclear Structure-Contributions, D-3893, p. 40
Dubna (1968).
10. Р. Арльт, Б. Быстров, Г. Музиоль, П. Паатеро, Х. Штрусный. Преп-
ринт ОИЯИ 13-3922, Дубна 1968.
11. Р. Арльт, З. Малек, Г. Музиоль, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ
Р6-4235, Дубна 1968.
12. Р. Арльт, С. Кадыкова, А. Калинин, В. Моисеева, Г. Музиоль,
М. Омеляненко, Ю. Прокофьев, Б. Семенов, А. Синаев, Н. Чистов,
Х. Штрусный, Г. Эльснер. Препринт ОИЯИ Р6-3773, Дубна 1968.
13. N.Zeldes, A. Grill and A.Simievic. Mat.Fys.Skr.Dan.Vid.Selsk.
3, No.5 (1967).
14. Н.И. Пятов, В.Г. Соловьев. Изв. АН СССР, сер. физ., 28,1617(1964).

Рукопись поступила в издательский отдел

30 июля 1969 года.