



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Ван Чуань-пэн, К.Я.Громов, Ж.Желев, В.В.Кузнецов, Ма Хо Ик,
Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, Хань Шу-жунь, В.А.Халкин

P-1361

ПОЗИТРОНЫ ПРИ РАСПАДЕ Y^{167}

Изв. АН СССР, Сер. Физ., 1964,
т.28, №2, с. 252-256.

31

Дубна 1963

Ван Чуань-пэн, К.Я.Громов, Ж.Желев, В.В.Кузнецов, Ма Хо Ик,
Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, Хань Шу-жунь, В.А.Халкин

P-1361

ПОЗИТРОНЫ ПРИ РАСПАДЕ Yb^{167}

Направлено в "Изв.АН СССР"

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

2010/2 48

Излучение, возникающее при распаде Yb^{167} , изучалось Хармацем и др.^{/1/}, Вилсоном и Пулом^{/2/} и Громовым и др.^{/3/}. Авторами этих работ было установлено, что при распаде Yb^{167} возбуждаются уровни ротационной полосы основного состояния Tu^{167} ($1/2^+$ /411/) с энергиями 10,4 кэВ ($3/2^+$); 116,5 кэВ ($5/2^+$) и 142,3 кэВ ($7/2^+$), а также уровни одночастичного возбуждения с энергиями 170,4 кэВ и 292,7 кэВ типа $7/2^+$ /404/ и $7/2^-$ /523/, соответственно.

В работах^{/2,3/} показано, что распад Yb^{167} идет главным образом на уровень с энергией 292,7 кэВ типа $7/2^-$ /523/ Tu^{167} . Число распадов на уровень с энергией 170,4 кэВ меньше 10%. Число распадов на уровни ротационной полосы основного состояния пренебрежимо мало.

Используя значение разности масс $Yb^{167} - Tu^{167}$, вычисленное Драницкой^{/4/}, Громов и др.^{/3/} оценили значение $lgft$ для перехода из основного состояния Yb^{167} на уровень 292,7 кэВ Tu^{167} . Полученное значение $lgft \approx 3,8$ значительно меньше обычно наблюдаемых значений $lgft$. Это связано с тем, что использованное полужемпирическое значение разности масс неточно. Однако все же можно утверждать, что k -захват в Yb^{167} является разрешенным переходом, и в связи с этим основное состояние Yb^{167} имеет характеристики $5/2^-$ /523/. Именно таких характеристик основного состояния Yb^{167} следует ожидать, исходя из свойств соседних ядер и схемы уровней Нильсона. Представляет интерес получение точного экспериментального значения $lgft$ (матричного элемента) для перехода из состояния $5/2^-$ /523/ Yb^{167} в состояние $7/2^-$ /523/ Tu^{167} . Как указывает В.Г.Соловьев^{/5,6/}, экспериментальные значения матричных элементов для переходов данного типа являются одним из путей проверки так называемой сверхтекучей модели деформированных ядер. Определение $lgft$ для распада Yb^{167} на уровень 292,7 кэВ Tu^{167} и являлось задачей настоящей работы.

Препараты Yb^{167} для измерения выделялись из лютециевой фракции, полученной при разделении редких земель, выделенных из танталовой мишени, облученной в течение 2 часов на внутреннем протонном пучке синхротронного Объединенного института ядерных исследований. Энергия протонов - 680 МэВ. Выделение иттербия из лютециевой фракции позволяет получить препарат Yb^{167} практически моноизотопным. Действительно, при распаде радиоактивных изотопов, содержащихся в лютециевой фракции, образуются только два радиоактивных изотопа иттербия: Yb^{167} и Yb^{169} с периодами полураспада $T_{1/2} = 1100$ сек (≈ 18 мин) и $T_{1/2} = 2640$ ксек (30,6 дн), соответственно. Материнские изотопы Lu^{167} и Lu^{169} имеют периоды полураспада 3300 сек (55 мин) и 144 ксек (40 час.), соответственно. Таким образом, путем быстрых повторных выделений иттербия из лютеция мы получили препараты Yb^{167} с очень малым содержанием Yb^{169} . Малые примеси Yb^{169} не могли играть существенной роли, так как Yb^{169} имеет период полураспада в тысячи раз больший, чем Yb^{167} , а также потому, что Yb^{169} не имеет позитронов и γ -лучей с энергией больше 300 кэВ. Очень важно было иметь препарат Yb^{167} хорошо очищенным от загрязнений изотопами лютеция и другими изотопами иттербия. Многие из этих изотопов имеют интенсивные

у-переходы с энергиями выше 300 кэв, и поэтому малейшее загрязнение этими изотопами используемого препарата может сильно затруднить исследования. В связи с этим для выделения Yb^{167} из лютециевой фракции было использовано хорошо известное для макроколичеств свойство иттербия экстрагироваться из ацетатных растворов амальгамами щелочных металлов^{17,8/}. Выполненная нами экспериментальная проверка показала, что экстракция иттербия амальгамой натрия проходит быстро и практически количественно из растворов, содержащих следы иттербия (10^{-12} – 10^{-10}) м. Это позволило в течение 10 минут провести многократную очистку лютеция от иттербия и после накопления Yb^{167} так же быстро выделить радиохимически чистый препарат Yb^{167} .

Химическая методика выделения иттербия была следующая: к 10 мл раствора с $pH = 2,45$ суммарным содержанием ацетатона 0,4 М и 1,5 М $NaCl$ добавлялась лютециевая фракция и 2 мл амальгамы натрия 0,539%. Амальгама и раствор в течение двух минут энергично перемешивались в делительной колонке барботированием азота через жидкость. Ртуть с поглощенным иттербием сливалась, раствор подкислялся соляной кислотой до $pH = 4,6$, затем добавлялось 2 мл амальгамы, и вновь проводилась экстракция иттербия из раствора. Такая очистка лютеция от иттербия повторялась еще дважды. В результате содержание иттербия в лютеции уменьшалось в 10^5 – 10^6 раз. Через 20 минут после окончательной очистки раствора от иттербия проводилась экстракция дочернего иттербия 4 мл амальгамы. От следов лютеция амальгама четыре раза отмывалась 0,4 М ацетатным раствором (один раз с $pH = 4,6$ и три раза с $pH \approx 9$). Продолжительность одной промывки – около одной минуты. Иттербий из ртути извлекали дважды горячей 2 М HCl порциями по 5 мл. Из солянокислого раствора иттербий осаждали с 2 мг фторида церия, и этот препарат исследовался на спинтальляционном у-спектрометре. Для измерения на β -спектрометре выполнялось дополнительно хроматографическое концентрирование иттербия. В последнем случае измерения начинались через 30–40 минут после разделения лютеция и иттербия.

Спектр у-лучей Yb^{167} , полученный нами, представлен на рис. 1 а и б. В области малых энергий (пики 56 кэв, 113 кэв, 176 кэв) он совпадает со спектром, опубликованным Вилсоном и Пулом^{12/}. Новым является обнаружение слабых у-пиков с энергиями 510 кэв, 820 кэв, 1040 кэв, 1250 кэв, 1440 кэв и 1520 кэв. В работе Вилсона и Пула у-лучи с энергией свыше 200 кэв не наблюдались.

Наблюдения за спадом интенсивности всех у-пиков, наблюдавшихся в спектре, показали, что интенсивность их убывает с одинаковым в пределах ошибок измерений периодом полураспада, равным 1038 ± 12 сек. Эти наблюдения велись в течение десяти периодов полураспада (т.е. наблюдался распад в тысячу раз), и при этом никаких у-лучей, интенсивность которых изменяется с другими периодами полураспада (за исключением у-лучей с энергиями 50, 210 и 530 кэв дочернего Tu^{167}), не наблюдалось. Это свидетельствует, с одной стороны, о том что приписание вновь обнаруженных у-лучей распаду Yb^{167} правильно. С другой стороны, этот факт может характеризовать чистоту препарата. Можно утверждать, что в использованном препарате загрязнение изотопами лютеция составляло не более 10^{-6} по активности. Наличие в спектре Yb^{167} у-лучей с энергией до 1500 кэв показывает, что разность масс Yb^{167} – Tu^{167} больше 1500 кэв. При этом каза-

лось весьма вероятным, что у-лучи 510 кэв возникают при аннигиляции позитронов. Мы сделали попытку найти позитроны Yb^{167} и измерить их спектр с помощью β -спектрометра с трехкратной фокусировкой. На рис. 2 изображен график Кюри полученного позитронного спектра. Граничная энергия позитронов оказалось равной (650 ± 30) кэв.

Интенсивность позитронов в процентах на распад была измерена тремя методами.

1. Сравнивались относительные интенсивности х-лучей и аннигиляционного пика в у-спектре Yb^{167} (рис. 1). При этом для оценки интенсивности х-лучей в % на распад использовались данные работ^{1,2,3/} о схеме распада Yb^{167} .

2. Сравнивались относительные интенсивности аннигиляционного пика в у-спектре Yb^{167} и у-пика с энергией 532 кэв в спектре Tu^{167} , образовавшегося в том же препарате после распада Yb^{167} . Интенсивность у-лучей 532 кэв на распад Tu^{167} известна^{18/} и равна 1,5%.

3. Сравнивались относительные интенсивности позитронов с интенсивностью $(L + M + N)$ -конверсионной линии перехода 208 кэв Tu^{167} . Интенсивность конверсионных линий L, M, N перехода 208 кэв взята также из работы^{18/}.

Результаты этих трех определений представлены в таблице I. Они хорошо согласуются между собой.

Т а б л и ц а I

Определение интенсивности позитронов при распаде Yb^{167} $E_{\beta+gr} = (650 \pm 30)$ кэв

М е т о д	Интенсивность позитронов в % на распад
Сравнение	
1. γ 511 Yb^{167} — х Yb^{167}	$(0,4 \pm 0,2)$ %
2. γ 511 Yb^{167} — γ 532 Tu^{167}	$(0,5 \pm 0,2)$ %
3. β^+ Yb^{167} — L 208 Tu^{167}	$(0,4 \pm 0,1)$ %

В таблице II представлены данные об энергиях и интенсивностях вновь обнаруженных у-лучей Yb^{167} . Интенсивности у-лучей в процентах на распад определены через интенсивность аннигиляционного пика. Интенсивность позитронов принята при этом равной 0,4%.

Т а б л и ц а II

Результаты исследований спектра у-лучей Yb^{167} х)

Энергия у-лучей (кэв)	интенсивность у-лучей в % на распад
	0,07
920 ± 20	0,3
1040 ± 20	0,15
1250 ± 30	0,05
1440 ± 50	0,05
1520 ± 50	

х) В задачи настоящей работы не входило детальное изучение спектра у-лучей Yb^{167} в области энергий меньше 300 кэв. Полученные данные об этой части спектра хорошо согласуются с результатами Вильсона и Пула^{12/} (см. рис. 1а).

Полученные результаты подтверждают сделанный в работах ² и ³ вывод, что распад Yb^{167} идет главным образом на уровень $292,7$ кэВ Tu^{167} (см. схему распада, рис. 3). Как видно из таблицы II, число распадов на более высокие уровни Tu^{167} не больше одного процента. Очевидно, что обнаруженные нами позитроны с граничной энергией (650 ± 30) кэВ также связаны с переходом из основного состояния Yb^{167} на уровень $292,7$ кэВ Tu^{167} . Вычисленное при этом предположении отношение интенсивностей k захвата к позитронному распаду равно (220 ± 60) . Это значение неплохо совпадает с теоретическим значением $k/\beta^+ = 150$ для разрешенного перехода с граничной энергией позитронов 650 кэВ.

Итак, мы располагаем всеми экспериментальными величинами, необходимыми для вычисления $lg ft$ для перехода из основного состояния Yb^{167} типа $5/2^-/523/$ на уровень Tu^{167} с энергией $292,2$ кэВ типа $7/2^-/523/$:

- 1) период полураспада Yb^{167} равен 1038 ± 12 сек ($17,3 \pm 0,2$ мин);
- 2) энергия распада для обсуждаемого перехода равна $E_{\beta^+} + 1020$ кэВ = (1670 ± 30) кэВ;
- 3) доля распадов Yb^{167} через обсуждаемый переход равна $(89^{+0,5}_{-10})\%$.

Исходя из этих данных, мы рассчитали $lg ft$ и получили значение $4,74^{+0,07}_{-0,03}$. В таблице III полученное значение сопоставлено со всеми известными значениями $lg ft$ для переходов такого типа. Как видно из таблицы, в настоящее время $lg ft$ для переходов такого типа определен экспериментально с хорошей точностью только в двух случаях: для распада Er^{163} в Ho^{163} (Жилич и др. /10/) и для распада Yb^{167} в Tu^{167} (настоящая работа). В остальных случаях известны только приблизительные значения.

В.Г. Соловьев ^{5,8/} считает, что более правильно сопоставлять между собой не экспериментальные значения $lg ft$, а величины $lg[(ft)_{\beta} R \cdot \eta]$, где величины R и η — соответственно поправка, учитывающая влияние сверхтекучести, и статистический фактор. Так как пока известно только два значения $lg ft$, определенных с хорошей точностью, по-видимому, рано делать определенные заключения о ценности этих поправок. Интересно, однако, отметить, что введение поправок по Соловьеву не уменьшает разницу этих двух значений, а, наоборот, несколько ее увеличивает. Возможно, это связано с тем, что рассматриваемые переходы чувствительны к факторам, которые не учитываются сверхтекучей моделью. Для выяснения этого необходимо получение точных значений $lg ft$ для других переходов, указанных в таблице III.

Т а б л и ц а III
Систематика значений $lg ft$ для β -переходов типа $\{5/2^-/523/ \pm 7/2^-/523/\}$ в нечетных деформированных ядрах

β -переход	R	$lg(ft)_{\beta}$	$lg[(ft)_{\beta} R \cdot \eta]$	Литература
$Er^{163} \rightarrow Ho^{163}$	0,42	$4,64 \pm 0,02$	4,26	/10/
$Yb^{167} \rightarrow Tu^{167}$	0,58	$4,74^{+0,07}_{-0,03}$	4,50	Настоящая работа
$Er^{167} \rightarrow Ho^{167}$	0,52	$\approx 4,8$	$\approx 4,4$	Данные взяты из работы Соловьева ^{8/}
$Gd^{161} \rightarrow Tb^{161}$	0,26	$\approx 4,9$	$\approx 4,3$	
$Dy^{159} \rightarrow Ho^{159}$	0,39	≤ 5	$\leq 4,5$	
$Dy^{161} \rightarrow Ho^{161}$	0,31	$\leq 4,5$	4,0	
$Er^{163} \rightarrow Ho^{163}$	0,36	≤ 5	$\leq 4,6$	

Л и т е р а т у р а

1. В.Н.Матц, Т.Хэндли, Ж.Михелич. Phys. Rev., 114, 1082 (1959).
2. R.G.Wilson, M.Pool. Phys. Rev., 120, 1296 (1960).
3. К.Громов, А.Данагулян, А.Стригачев, В.Шпинель. Изв. АН СССР, серия физ., 1963 (в печати).
4. Г.Драницына. Материалы IV совещания по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов и теории ядра, 1962.
5. В.Г.Соловьев. Изв. АН СССР, серия физ., 25, 1193 (1961).
6. В.Г.Соловьев. Предпринт ОИЯИ Р-801, Дубна 1961.
7. M.F.Barrett, D.Sweasey, N.E.Topp, J.Inorg. Nucl. Chem. 24, 571 (1962).
8. М.Г.Саюн, К.Х.Царева. Журн. неорг.хим., 7, № 2, 227 (1962)
9. К.Громов, Б.Джелепов, В.Звольска, И.Звольский, Н.Лебедев, Я.Урбанец. Изв. АН СССР, сер. физ., 24, 1019 (1962).
10. J.Zyliz, Z.Sujkowski, J.Jastrzebski, O.Wotczek, S.Chojnacki, I.Jutlandov. Polish Ac. of Sciences, Instr. of Nuclear Research Report 358/LA (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июля 1963 г.

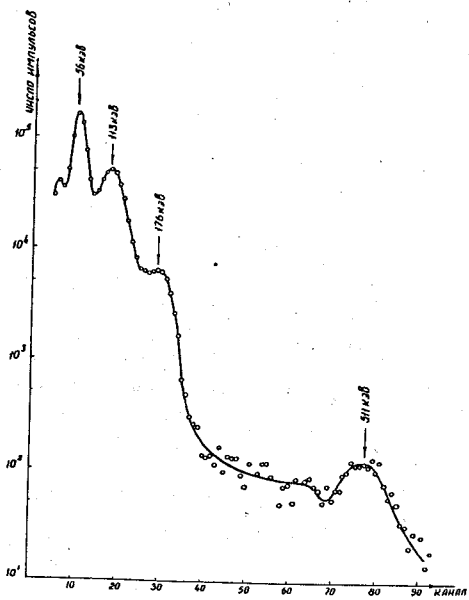


Рис. 1а.

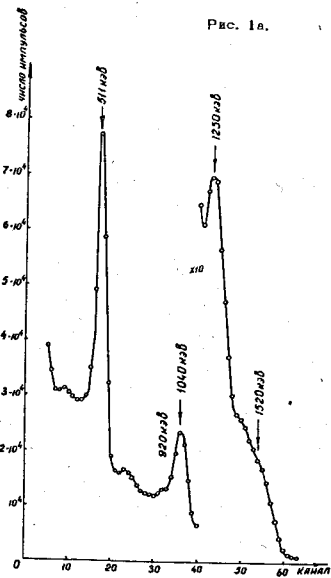


Рис. 1б.

Рис. 1. γ -спектр Yb^{167} , измеряемый на сцинтиляционном 100-канальном анализаторе с кристаллом $NaI(Tl)$, размеры кристалла 70 x 50 мм:
 а) γ -спектр в области энергий до 600 кэВ
 б) γ -спектр в области энергий от 400 кэВ до 2000 кэВ.
 В этом случае γ -спектр измерялся с поглотителем 5 мм

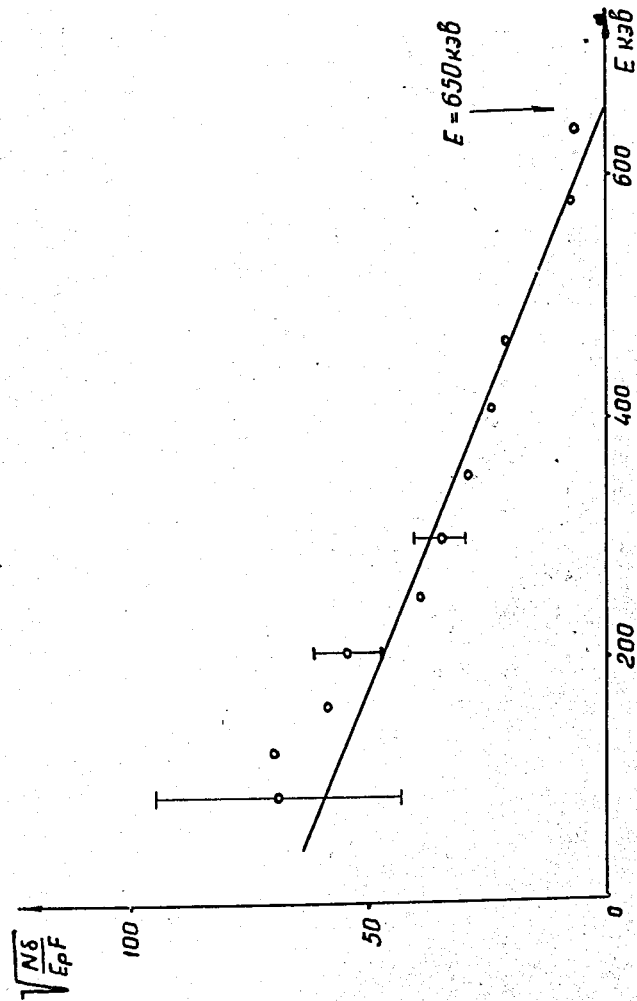


Рис. 2. Графики К α β^+ -спектра Yb^{167} .

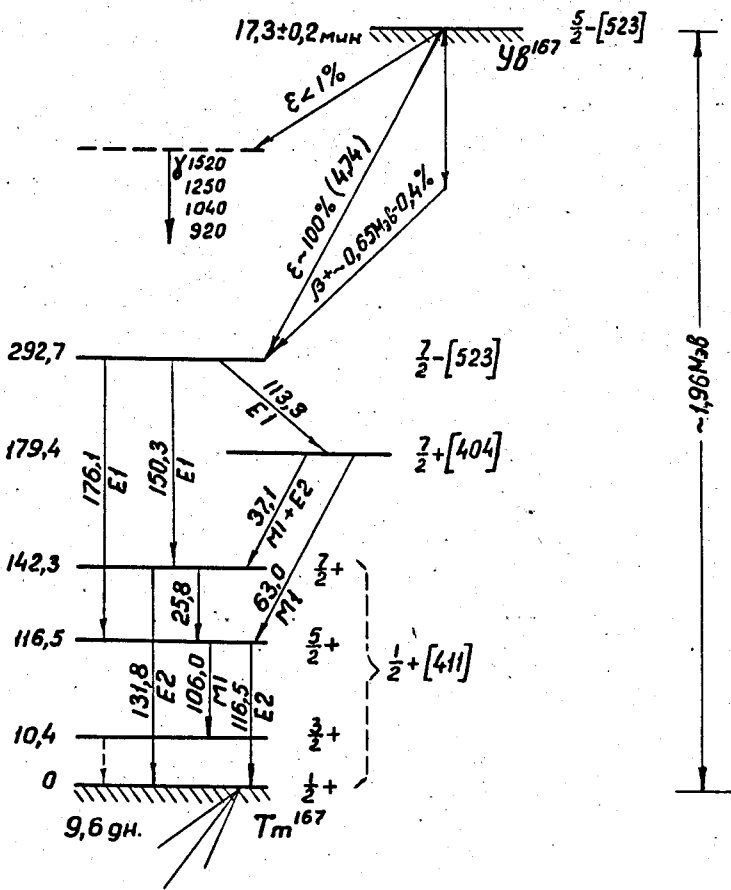


Рис. 3. Схема распада $УБ^{167}$.