

с 341.18
Б-272

✓ 3/10-4

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2031



А.С.Басина , Т.Бэдикэ, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов ,
В.А.Морозов, А.Ф.Новгородов

γ -ЛУЧИ Tu^{164} . УРОВЕНЬ ТИПА 0^+ В E_{γ} 164

ЯФ, 1965, т 2, в 2, с 204-210.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

А.С.Басина^{х)}, Т.Бэдикэ, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов^{х)},
В.А.Морозов, А.Ф.Новгородов^{хх)}

γ - ЛУЧИ Тн¹⁶⁴ . УРОВЕНЬ ТИПА 0⁺ В Ег¹⁶⁴

Направлено в журнал "Ядерная физика"

х) Ленинградский государственный университет,
хх) Институт ядерной физики АН Казахской ССР

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3054/2 49.

Изотоп тулия с массовым числом $A = 164$ был идентифицирован впервые Абдура-заковым и др. ^{/1/}. Tu^{164} возникает при распаде Yb^{164} ($T_{1/2} = 75$ мин) и имеет период полураспада, близкий к 2 мин ^{/2,3/}. Распад Tu^{164} сопровождается интенсивным позитрон-ным излучением с граничной энергией $E_{\gamma} = (2940 \pm 20)$ кэв ^{/1,2/}.

Исследование спектра конверсионных электронов Tu^{164} в равновесии с материнским Yb^{164} ^{/4/} показало, что при распаде Tu^{164} возникает большое число переходов с энергиями вплоть до 2200 кэв.

В работе ^{/5/} был исследован спектр γ -лучей и e^{-} - γ -совпадений Tu^{164} в равновесии с Yb^{164} . Схема распада Tu^{164} , предложенная на основании данных ^{/4,5/}, приведена в работе ^{/5/}.

Целью данной работы является определение коэффициентов внутренней конверсии для некоторых переходов в E_{γ}^{164} путем сопоставления интенсивностей конверсионных линий с интенсивностями γ -лучей.

Относительные интенсивности конверсионных линий Tu^{164} приведены в работе ^{/4/}. Экспериментальная задача состояла в определении относительных интенсивностей γ -лучей Tu^{164} .

Препарат

Изучение распада Tu^{164} в равновесии с Yb^{164} ранее ^{/4,5/} проводилось на препаратах Yb , полученных в результате хроматографического разделения редкоземельных элементов, образующихся при бомбардировке танталовой мишени протонами с энергией 880 Мэв. Такие препараты содержат, помимо Yb^{164} , и другие изотопы: Yb^{162} , Yb^{166} , Yb^{167} , Yb^{169} , Tu^{162} , Tu^{166} , Tu^{167} , излучение которых существенно затрудняет изучение γ -спектра Tu^{164} . Поэтому для измерения спектра γ -лучей Tu^{164} были использованы препараты тулия, полученные быстрым выделением из фракции иттербия. Химические операции начинались с получения чистого препарата иттербия (свободного от примесей Lu и Tu) методом цементации амальгамой натрия. Метод цементации дает препараты иттербия, содержащие не более 10^{-4} % посторонней активности ^{/6/}.

Эти препараты содержат изотопы иттербия: Yb^{162} , Yb^{164} , Yb^{166} , Yb^{167} , Yb . После пятиминутного накопления дочерних изотопов тулия материнский иттербий извлекают методом цементации. Однократная цементация позволяет извлечь до 95% Yb . В нашем случае цементация производилась трижды.

После удаления иттербия раствор, содержащий дочерние изотопы тулия, использовался для измерений.

Поскольку накопление проводится всего пять минут, то другие дочерние изотопы туллия, кроме двухминутного Tu^{164} , не успевают накопиться в заметном количестве.

В первую минуту после разделения Tu и Yb примеси от других изотопов Tu и от остатков Yb составили несколько процентов по общей активности; однако в дальнейшем Tu^{164} быстро распадался и роль примесей соответственно возрастала. На рис. 1 приведена кривая распада для одного из препаратов (интегральная активность). Кривая показывает, что в течение 5-6 минут активность Tu^{164} является доминирующей; после этого активность обусловлена примесями Yb^{162} (22 мин), Yb^{166} (58 ч), Yb^{167} (18 м), Yb^{169} (30,6 д), Tu^{162} (20 мин), Tu^{166} (7,7 ч) и Tu^{167} (9,8 д). Примеси в разных препаратах могли иметь разный состав.

Период полураспада Tu^{164} , по нашим измерениям, $(2,0 \pm 0,1)$ мин, что находится в согласии с результатами работ /2,3/.

Эксперимент

Для измерения γ -спектра препарата был использован сцинтилляционный γ -спектрометр с кристаллом $NaI(Tl)$ размером 40x40 мм. Разрешение по γ -882 Cs составляло 11%. γ -спектр регистрировали с помощью многоканального анализатора АИ-100.

Измерения начинались через 6 минут после разделения Tu и Yb . Ввиду того, что препарат не был совершенно чистым и содержал некоторое количество примесей, γ -спектр препарата измеряли дважды: сразу после выделения и спустя 10-15 минут для получения γ -спектра примесей; второй спектр являлся фоном, подлежащим вычитанию. γ -спектр Tu^{164} в области энергий от 800 кэВ до 3 МэВ, полученный после вычитания, изображен на рис. 2.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных состояла в графическом разложении γ -спектра Tu^{164} для определения относительных интенсивностей γ -лучей. Приборная форма линии и эффективность регистрации были определены экспериментально по калиброванным источникам. Относительное число позитронов дается по интенсивности аннигиляционного излучения с учетом испускания двух γ -квантов 511 кэВ на один позитрон.

Результаты измерений

В таблице 1 приведены полученные нами экспериментальные данные об энергиях и относительных интенсивностях γ -лучей Tu^{164} в области энергий от 500 до 2500 кэВ, а также данные Громова и др. /4/ о спектре конверсионных электронов в этой области энергий.

Определение мультипольностей переходов

Определить коэффициент конверсии для переходов с энергией 773 - 1898 кэВ можно двумя путями:

- непосредственно разделяя одну на другую величины, указанные во второй и четвертой колонках таблицы 1,
- сделав предположение о мультипольности одного из переходов.

Первый путь в действительности содержит два предположения: что весь β^+ -спектр в опытах Громова и др. принадлежит Tu^{164} и что γ -линия $\nu = 511$ кэВ в наших опытах целиком принадлежит аннигиляционному излучению Tu^{164} .

Второй путь требует только знания относительных интенсивностей линии и может быть точным, если выбор перехода с определенной мультипольностью может быть сделан достаточно уверенно. В случае Tu^{164} такая уверенность имеется относительно перехода с энергией 882 кэВ.

Действительно, в работе Элбека /7/ уровню 882 кэВ приписаны характеристики $2,2^+$ (γ -вибрационный уровень) и переход с энергией 882 кэВ в основное состояние четного ядра должен быть чистого типа $E2$.

Фотопик $\nu = 882$ кэВ - один из самых интенсивных в γ -спектре Tu^{164} . Полуширина линии соответствует приборной. На этом основании вся интенсивность наблюдаемой γ -линии приписана переходу 882 кэВ.

Таким образом обстоятельства благоприятны для применения в случае Tu^{164} второго пути, и мы начнем с него.

Принимая $a_K(882) = 0,0038$, по Сливу и Банд /8/ мы находим коэффициенты конверсии, приведенные в таблице 2.

Для перехода с энергией 773 кэВ мы получаем коэффициент внутренней конверсии, близкий к теоретическому для чистых $E2$ (хотя не исключена смесь $E1 + M2$).

Интенсивность γ -лучей переходов 908 и 930 кэВ, по нашим оценкам, $\leq 0,8$ (в единицах таблицы 1), что приводит к КВК $a_K \geq 0,017$ и $a_K \geq 0,027$ соответственно. Эти оценки позволяют отвергнуть мультипольности типа $E1, E2, E3, M1$ для обоих переходов.

Для переходов с энергией 1157 и 1167 кэВ можно только указать минимальное значение КВК каждого из этих переходов, равное 0,0018 и 0,0010. Эта оценка позволяет отвергнуть мультипольность $E1$ для перехода 1157 кэВ.

Анализируя данные о переходах с энергиями 1228 кэВ и 1248 кэВ, мы отмечаем, что в работе /4/ К-линии этих переходов указаны в числе наиболее интенсивных в

Таблица 1
Относительные интенсивности γ -лучей и конверсионных электронов
 Tu^{164} в области энергий 500 - 2500 кэв

Энергия перехода по /4/ (кэв)	Относит. интенсивн. К-линий /4/	$h\nu$ в γ -спектре (кэв)	Относит. интенсивн. γ -лучей
773	0,014	770 \pm 10	7,1 \pm 0,8
862	0,011	860 \pm 10	7,8 \pm 0,8
908	0,005	-	\leq 0,8
930	0,008		
-	-	1040 \pm 30	3,5 \pm 0,4
1157	0,008	1160 \pm 10	11,4 \pm 1,2
1167	0,0045		
1226	0,014	-	\leq 1,0
1248	0,015		
-	-	1310 \pm 15	8,2 \pm 0,8
-	-	1450 \pm 15	7,2 \pm 1,1
1677	0,0035	1670 \pm 20	8,6 \pm 1,1
1698	0,0045		
1766	0,0100	1840 \pm 20	(3,5 \pm 0,7) ^{x)}
1861	0,0015		
2080	0,0013	2080 \pm 20	(4,5 \pm 1,5) ^{x)}
2171	0,007	(2170 \pm 50)	(2,7 \pm 1,3) ^{x)}
2185	0,004		
-	-	2300 \pm 100	5,2 \pm 1,2
β^+	100	5II	200 ($\beta^+ = 100$)

x) В скобках указаны относительные интенсивности для более слабых сложных линий, отождествление которых с переходами, указанными в работе /4/, может быть сделано менее достоверно.

этой области конверсионного спектра. Однако в γ -спектре Tu^{164} мы не наблюдаем γ -лучей с такой энергией.

Оценим, каковы должны быть коэффициенты внутренней конверсии для этих переходов, чтобы γ -лучи 1226 кэв и 1248 кэв не были видны в γ -спектре. Фотопики от γ -лучей 1226 и 1248 кэв должны располагаться в спектре между пиками 1160 и 1300 кэв и могут быть выделены при графическом разложении спектра. Точность графического разложения составляет обычно 20-30%.

Однако то обстоятельство, что γ -линии Co (1170 кэв и 1330 кэв) и Na^{22} (1276 кэв), использованные для получения приборной формы линии, расположены очень близко к исследуемым пикам, позволяет повысить точность графического разложения в области спектра до 10%. При разложении спектра с такой точностью не выделяется никакого пика между фотопиками от γ -лучей 1160 и 1300 кэв. Принимая во внимание указанную точность определения относительной интенсивности γ -лучей (таблица 2), получаем минимальное значение КВК для переходов 1226 и 1248 кэв, равное 0,039, что в 1,5 раза превосходит теоретическое значение КВК даже для мультипольности М4.

Совпадения (L 91,5) (γ)

В нашей работе /5/ производилось изучение спектра γ -лучей, совпадающих с электронами L 91,5.

В таблице 3 приведены относительные интенсивности 4-х линий, наиболее отчетливо проявляющихся в этом спектре.

Так как переходы с энергией 773; 1157 кэв в схеме распада располагаются непосредственно над уровнем $E^* = 91,5$, то отношение скоростей счета совпадений должно совпадать с отношением интенсивностей γ -лучей. Опыт дает

$$\frac{(L 91,5) (\gamma 1157 + \gamma 1167)}{(L 91,5) (\gamma 773)} = \frac{8,0 \pm 1,6}{6,7 \pm 1,4} = 1,2 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,4 \end{matrix};$$

$$\frac{\gamma 1157 + \gamma 1167}{\gamma 773} = \frac{11,4 \pm 1,2}{7,1 \pm 0,3} = 1,6 \begin{matrix} +0,3 \\ -0,2 \end{matrix}.$$

Второе отношение несколько больше, что может указывать на то, что совпадений (L 91,5) (γ 1167) либо нет, либо они ослаблены разветвлениями.

Переход с энергией 1310 кэв не был замечен в спектре конверсионных электронов, поэтому точность определения энергии здесь меньше и энергетические основания для его помещения в схему распада меньше. Если он располагается между уровнями 1400 и 91,5 кэв, как это показано на схеме распада, то должно быть

$$\frac{(L 91,5) (\gamma 1310)}{(L 91,5) (\gamma 773)} = \frac{\gamma 1310}{\gamma 773}.$$

E _γ (кэВ)	Относительная интенсивность К-линии / I _γ	Относительная интенсивность γ-лучей (наст.р.)	α _к эксл.	Теоретические значения α _к по /8/								Мультипольность, вытекающая из α _к	
				E1	E2	E3	E4	M1	M2	M3	M4		
773	0,014	7,1±0,8	0,0054± +0,0006	0,0019	0,0048	0,011	-	0,0098	0,026	0,056	-	-	E2, E2+(<12%M1) E1 + (<15%M2)
862	0,011	7,8±0,8	≥ 0,017	-	0,0038	-	-	-	-	-	-	-	Принято E2
908	0,005	≤ 0,8	≥ 0,027	0,0014	0,0034	0,0072	-	0,0066	0,017	0,034	0,065	0,065	M2, M3 и выше
930	0,008	≤ 0,8	≥ 0,019	0,0013	0,0032	0,0069	-	0,0062	0,015	0,032	0,060	0,060	M3, M4 и выше
1157	0,008	≤ 11,4	> 0,0011	0,0009	0,0021	0,0042	-	0,0035	0,0087	0,017	-	-	M1, E2 и выше
1167	0,0045	≤ 11,4	≥ 0,039	0,0009	0,0020	0,0042	-	0,0035	0,0085	0,017	-	-	M1, E2 и выше
1226	0,014	≤ 1,0	≥ 0,042	0,0008	0,0019	0,0038	0,0071	0,0032	0,0074	0,014	0,025	0,025	E0, M5 и выше
1248	0,015	≤ 1,0	≥ 0,042	0,0008	0,0018	0,0036	0,0068	0,0030	0,0071	0,014	0,025	0,025	E0, M5 и выше

На опыте эти соотношения равны

$$1,3 \begin{matrix} + 0,7 \\ - 0,5 \end{matrix} \quad \text{и} \quad 1,2 \begin{matrix} + 0,2 \\ - 0,2 \end{matrix}$$

что подтверждает наше размещение перехода с энергией 1310 кэВ.

Таблица 3

Относительные скорости счета совпадений (L 91,5) (γ)

Вид совпадений	Относительная скорость счета совпадений
(L 91,5) (γ 511)	130
(L 91,5) (γ 773)	6,7 ± 1,4
(L 91,5) (γ 1157 + γ 1167)	8,0 ± 1,6
(L 91,5) (γ 1310)	8,6 ± 1,7

Обсуждение схемы распада T₁₆₄

Рассмотрим полученные результаты с точки зрения предлагаемой схемы распада (рис. 3).

Переход с энергией 773 кэВ расположен в схеме между уровнями 862 кэВ (2,2⁺) и 91,5 (2,0⁺). Согласно правилам отбора по спину могут осуществляться переходы типа M1, E0 и E2. Эксперимент однозначно указывает, что мультипольность перехода 773 кэВ есть E2 с возможной небольшой примесью M1 (не более 20% M1). Это обычное явление для переходов между γ-вибрационной полосой и полосой основного состояния. Смесь E1 + M2 исключается четностью рассматриваемых уровней.

Переход с энергией 1248 кэВ, согласно предположению, высказанному в работе /4/, определяет положение уровня 1248 кэВ. Наличие совпадений (L 91,5) (γ 1180) /5/ подтверждает это предположение.

Полученный на опыте нижний предел коэффициента внутренней конверсии для этого перехода указывает на то, что либо уровень с энергией 1248 кэВ имеет очень высокий спин (I ≥ 7), либо, наоборот, I = 0⁺ и переход 1248 кэВ принадлежит к 0⁺ - 0⁺ - переходам. Если бы спин был очень велик, то не существовало бы прямого перехода I → 0⁺ и весь распад шел бы на уровни 2⁺, 4⁺ и т.д.; кроме того, трудно себе представить, как мог бы заселяться уровень с большим I при распаде T₁₆₄, который имеет характеристики I = 1⁺, K = 1 /5/. Поэтому более естественным кажется второе объяснение 0⁺ - 0⁺ переход. Тогда переход с энергией 1157 кэВ, идущий с уровня

1248 кэв на первый возбужденный уровень ротационной полосы основного состояния должен быть типа E2, что не противоречит экспериментальным данным.

Очевидно, следует считать, что переход с энергией 1228 кэв также имеет мультипольность E0. Возможно, что он связан еще с одним уровнем типа 0^+ . Например, введение уровня с энергией 2474 кэв типа 0^+ позволяет разместить в схеме распада переход с энергией 2380 кэв^{/5/} (переход на уровень 81 кэв).

Введение уровня с энергией 1400 кэв обусловлено следующими причинами.

В спектре Tu^{164} наблюдаются интенсивные γ -лучи с энергией 1310 ± 15 кэв, дающие совпадения с конверсионными электронами перехода 81,5 кэв^{/5/}.

Определение коэффициента внутренней конверсии для перехода 1310 кэв не представляется возможным, так как авторы работы^{/4/} не наблюдали конверсионных электронов соответствующей энергии. Это можно объяснить низкой мультипольностью перехода, например E1. Если принять мультипольность перехода 1310 кэв - E1, то интенсивность

K-линии этого перехода будет составлять всего 15 % от интенсивности K-линии перехода 1248 кэв и такая относительно слабая конверсионная линия легко может быть скрыта за конверсионными линиями Tu^{166} , присутствовавшего в препарате^{/4/}.

Поскольку переход 1310 кэв найден только в γ -спектре, то положение уровня можно указать только с точностью ± 15 кэв: 1400 ± 15 кэв. Не исключено, что наблюдаемые γ -лучи 1450 ± 15 кэв соответствуют переходу в основное состояние с предлагаемого уровня 1400 кэв.

В работе^{/4/} был идентифицирован переход с энергией 538 кэв.

С введением уровня 1400 кэв он тоже находит место между уровнями 1400 кэв и 862 кэв. Возможно, что на предлагаемый уровень с энергией 1400 кэв происходит переход с энергией 1074 кэв с уровня 2474 кэв ($h\nu$ в γ -спектре = 1040 ± 30 кэв).

Оценивая величины коэффициентов внутренней конверсии для более жестких γ -лучей Tu^{164} (с энергией более 1,5 Мэв), мы получаем нижние пределы, которые соответствуют либо переходам с высокими мультипольностями, либо $0^+ - 0^+$ переходам. Точность наших измерений в этой области спектра недостаточна для достоверного заключения. Однако теоретические расчеты Соловьева и др.^{/8/} предсказывают наличие нескольких уровней типа 0^+ в числе возбужденных состояний Eg^{164} .

Пользуясь данными^{/4/} об интенсивностях конверсионных линий, данными^{/5/} об отношении числа β^+ -распадов в основное и первое возбужденное состояние Eg^{164} и нашими данными об интенсивности γ -лучей и β^+ -распада, мы оценили значения $lg ft$ для распада на уровни Eg^{164} . Полученные значения указаны на рис. 3. Значение $lg ft$ для распада в основное (0^+) и первое возбужденное состояния (2^+) Eg^{164} оказалось равным 5,0 и 5,3 соответственно, что указывает на разрешенный характер β^+ -распада.

Соловьевым и др.^{/8/} были рассчитаны энергии β^- и γ -вибрационных состояний четно-четных сильно деформированных ядер в области $152 \leq A \leq 186$.

Энергия первого уровня β^- -вибрационной полосы у Eg^{164} должна составлять, согласно расчетам^{/8/}, приблизительно 1,3 Мэв. Мы наблюдаем уровень с характеристикой 0^+ , который можно считать первым уровнем в β^- -вибрационной полосе, на высоте 1248 кэв в хорошем согласии с теоретическими расчетами^{/8/}.

Л и т е р а т у р а

1. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.С.Джелелов, Ю.В.Норсеев, Г.Я.Умаров, В.Г.Чумин. Изв. АН СССР, сер. физ., **24**, 278 (1980).
2. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.Далхсурен, Б.С.Джелелов, И.Ю.Левенберг, А.Н.Мури, Ю.В.Норсеев, В.Н.Покровский, В.Г.Чумин, И.А.Ютландов. Nucl. Phys., **21**, 164 (1960).
3. R.G.Wilson, M.L.Pool. Phys. Rev., **120**, 1827 (1960).
4. К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, Л.Н.Никитюк, В.Г.Чумин. Программа и тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде, 1982, 42. М-Л. Изд. АН СССР.
5. А.С.Басяна, К.Я.Громов, Б.С.Джелелов, Ку За Хек, В.А.Морозов. Препринт ОИЯИ, P-1479, Дубна, 1983.
6. Ван Чуань-пэн, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.В.Кузнецов, Ма Хо Их, Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, Хань Шу-жунь, В.А.Халкия. Препринт ОИЯИ, P-1381, Дубна, 1983.
7. В. Ейбек. Доклад на XIV совещании по ядерной спектроскопии в Тбилиси, 1984 г.
8. Гамма-лучи. Изд. АН СССР, 318, 1981.
9. Лю Юань, В.Г.Соловьев, А.А.Корнейчук. ЖЭТФ, **7**, 252 (1984).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1985 г.

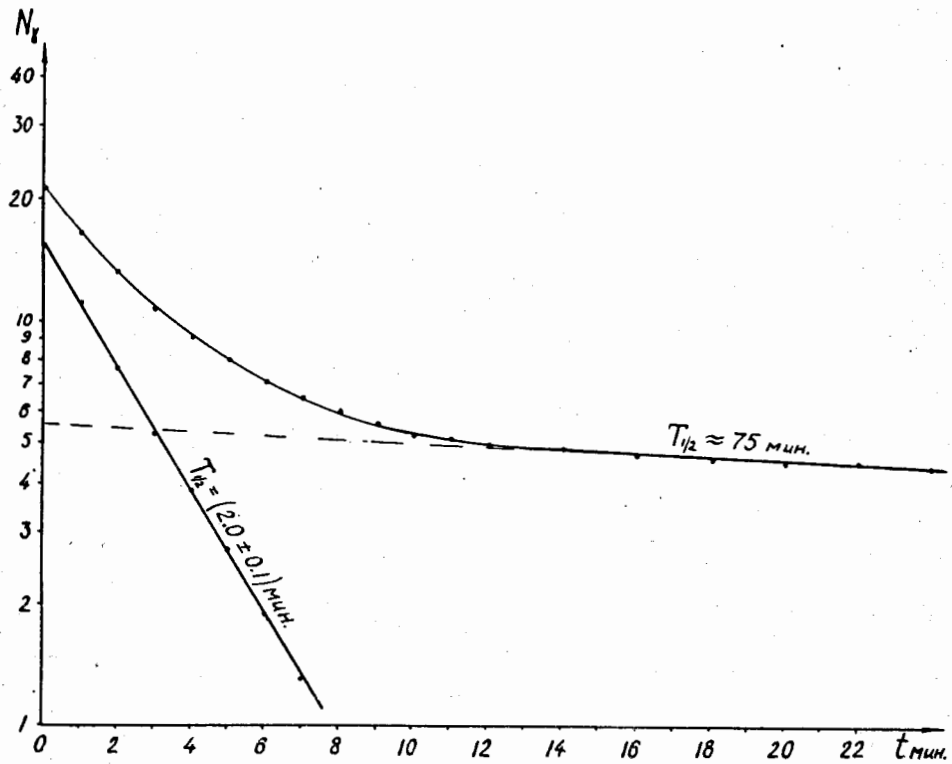


Рис. 1. Кривая распада препарата.

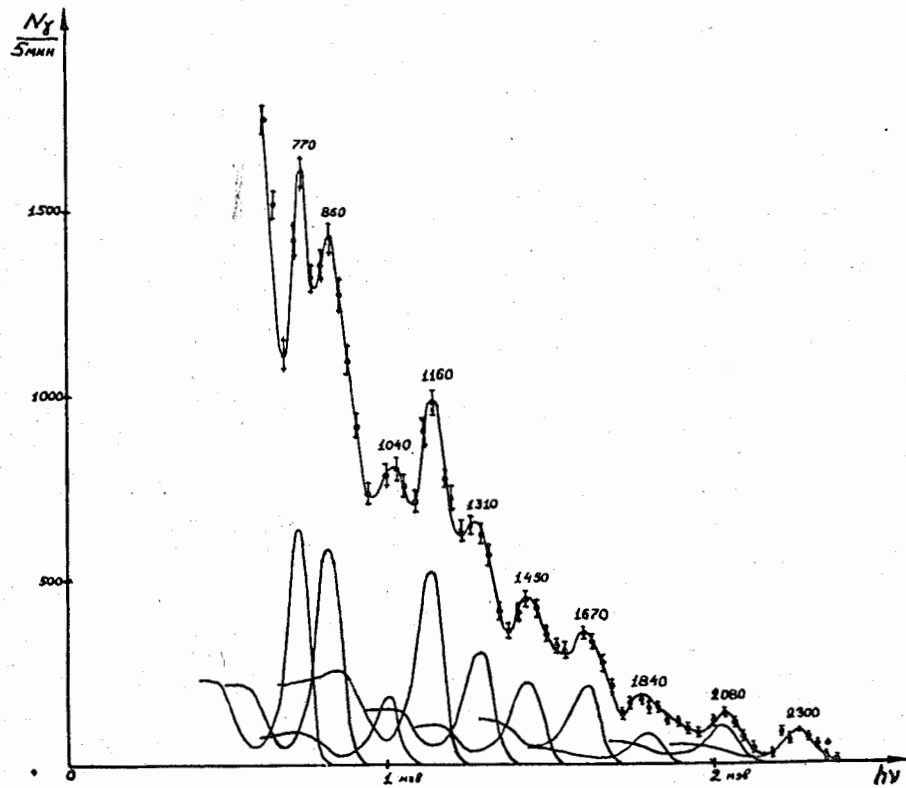


Рис. 2. γ -спектр Th^{164} в области энергий от 600 кэв до 2500 кэв. Экспериментальные точки получены как разность $(\text{Th}^{164} + \phi) - \phi$. Левее 600 кэв идет подъем на аннигиляционный пик. Тонкие линии - компоненты разложения; левее последней точки каждого спектра проводился горизонтальный участок до 0. Жирная линия - сумма компонент.

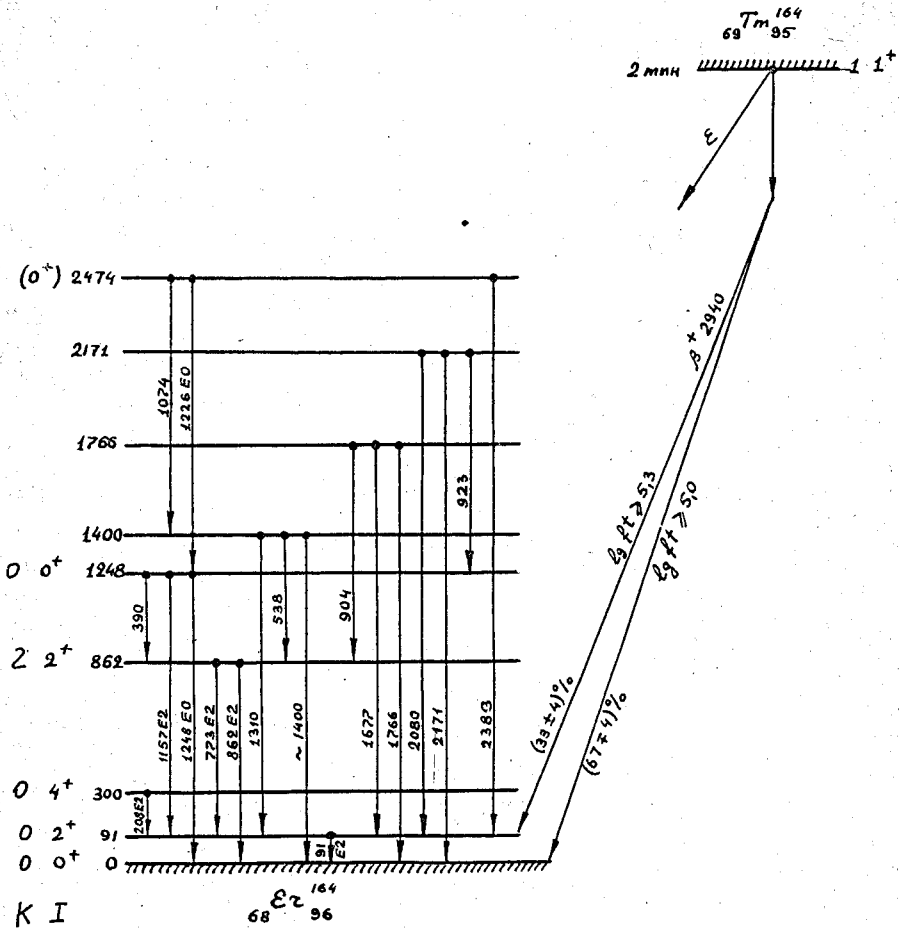


Рис.3. Схема распада Tm^{164} .