



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P - 1479

НОВЫЕ ДАННЫЕ О НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПАХ Tm^{164} , Ho^{155} , Dy^{155}

Материалы VI совещания по ядерной спектроскопии
нейтрондефицитных изотопов и теории ядра

Дубна 1983

Р-1479

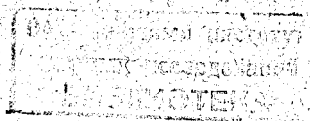
с3(04)

Н-766

НОВЫЕ ДАННЫЕ
О НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПАХ

Tm^{164} , Po^{155} , Dy^{155}

Материалы VI совещания по ядерной спектроскопии
нейтронодефицитных изотопов и теории ядра



Дубна 1963

2234/1, 78

С о д е р ж а н и е

1. А.С.Басина, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Ку За Хек, В.А.Морозов. Исследование схемы распада $Tm^{164} \xrightarrow[164, 2 \text{ мин}]{\epsilon, \beta^+} Er^{164}$	3
2. Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников. О распаде Po^{155}	26
3. А.С.Басина, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Д.Енчев, Ж.Желев, В.А.Морозов, А.Ф.Новгородов. Исследование позитронного спектра Dy^{155}	35

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ОИЯИ ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.С. Басина, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Ку За Хек, В.А. Морозов

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА $Tm^{164} \xrightarrow[164, 2 \text{ мин}]{\epsilon, \beta^+} Er^{164}$

Введение

Изотоп Tm^{164} образуется при распаде 75-минутного Yb^{164} и является членом генетической цепочки $Yb^{164} \rightarrow Tm^{164} \rightarrow Er^{164} \text{ стаб.}$ Изотоп иттербия с периодом полураспада 75 минут, наблюдали впервые Нервик и Сиборг ^{/1/} в продуктах расщепления тантала протонами с энергией 340 Мэв, затем Калямин и др. ^{/2/}. В работах ^{/1,2/} было установлено, что распад этого изотопа иттербия сопровождается испусканием позитронов с граничной энергией около 3 Мэв. Однако массовое число этого изотопа достоверно установлено не было.

Абдуразаков, Громов и др. ^{/3/} исследовали позитронный спектр и спектр электронов конверсии 75-минутного Yb с помощью магнитного спектрографа и магнитного β^- - спектрометра с однородным полем. В конверсионном спектре были обнаружены линии переходов с энергиями 9I,5 и 2II кэв. Граничная энергия β^+ - спектра оказалась равной (2940 ± 20) кэв.

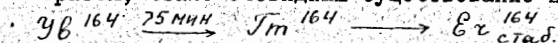
Детальное исследование спектра конверсионных электронов препарата иттербия, предпринятое с целью поисков возможных дочерних изотопов 75-минутного иттербия, позволило авторам заключить, что массовое число этого изотопа должно быть 162 или 164. Предположение, что массовое число 75-минутного иттербия является четным, согласуется с тем, что отношение энергий двух обнаруженных γ - переходов хорошо совпадает с теоретическим для переходов между первыми уровнями

ротационной полосы основного состояния.

Измерения относительных интенсивностей и точное определение энергий L_I , L_{II} и L_{III} линий перехода 91,5 кэВ на магнитном спектрографе показали, что это переход типа E2, который происходит в ядре эрбия. Сопоставление этих результатов с данными работы /4/, где указано, что при β^- -распаде $\text{Ho}^{164} \rightarrow \text{Er}_{\text{стаб}}^{164}$ возникает переход с той же энергией 91,5 кэВ, позволило авторам работы /3/ выбрать массовое число 75-минутного иттербия равным 164.

Разность масс, определенная из граничной энергии β^+ -спектра в предположении, что β^+ -распад происходит в основное состояние Er^{164} , равна 3960 кэВ, что хорошо согласуется с расчетным значением этой разности по полумпирическим формулам /5/.

Таким образом, стало очевидным существование цепочки распадов:



Исследование этой цепочки было продолжено Абдуразаковым, Громовым и др. /6/. С помощью сцинтилляционного γ -спектрометра были проведены опыты для прямого определения периода полураспада Tm^{164} .

Непосредственные измерения препарата дочернего Tm , выделенного из Yb , не давали достоверного результата, поскольку период полураспада Tm^{164} оказался существенно меньше времени, необходимого для химического выделения Tm из Yb . Поэтому наблюдали накопление Tm^{164} в Yb по изменению интенсивности аннигиляционного пика и пика 90 кэВ. Определенный таким способом период полураспада Tm^{164} оказался равным $(2,0 \pm 0,5)$ минуты.

Изучение γ -спектра иттербия (в равновесии с Tm^{164}) показало наличие γ -линии 90 кэВ, слабой линии 210 кэВ и интен-

сивного аннигиляционного пика, по-видимому, почти полностью принадлежащего Tm^{164} . Других γ -лучей заметной интенсивности обнаружено не было.

Изучению более высоких переходов в распаде $\text{Yb}^{164} \rightarrow \text{Tm}^{164} \rightarrow \text{Er}^{164}$ посвящены работы /7,8/, где исследовали спектр конверсионных электронов в области вплоть до 2200 кэВ. Исследование этого спектра представляет собой непростую задачу ввиду сложного изотопного состава фракции Yb . Авторы работ /7,8/ нашли, что при распаде $\text{Yb}^{164} \rightarrow \text{Tm}^{164}$ возникает много γ -переходов, происходящих, вероятно, отчасти и в Tm^{164} . Построенная на основе этих данных предварительная схема распада $\text{Tm}^{164} \rightarrow \text{Er}^{164}$ приведена на рис.1. β^+ -распад идет, по-видимому, как на основное состояние Er^{164} , так и на ротационный уровень с энергией 91,5 кэВ. При изучении позитронного спектра с $E_{\text{кр}} = 2940$ кэВ, естественно, трудно разделить компоненты, отличающиеся всего на 91 кэВ. Сопоставление интенсивностей перехода 91,5 кэВ и β^+ -спектра /6/ показывает, что интенсивность перехода 91,5 кэВ не более 40% от числа позитронов Tm^{164} . Значение отношения числа β^+ -распадов в основное и первое возбужденное состояние существенно для определения квантовых характеристик основного состояния Tm^{164} .

Поэтому первая задача настоящей работы состоит в точном определении этого отношения методом $e^- - \gamma$ -совпадений.

Вторая задача касается изучения более высоких возбужденных состояний Er^{164} . Указанные на схеме (рис.1) уровни 863 кэВ, 1250 кэВ, 1768 кэВ и 2171 кэВ введены на основе энергетических данных /7,8/ о спектре конверсионных электронов при распаде $\text{Yb}^{164} \rightarrow \text{Tm}^{164} \rightarrow \text{Er}^{164}$. Возникающие при этом распаде γ -лучи с энергией выше 511 кэВ

до сих пор исследованы не были.

Поскольку сведения о жестких γ - лучах Tm^{164} могут быть полезными для уточнения схемы распада, в настоящей работе сделана попытка исследовать γ - спектр Tm^{164} в области энергий 500-3500 кэв, а также спектр $e^- - \gamma$ - совпадений, насколько позволяют возможности использованного прибора.

1. Определение отношения β_{91}^+ / β_0^+

Экспериментальная установка состояла из γ - спектрометра и β - спектрометра, включенных в быстро-медленную схему совпадений с разрешающим временем $2\tau = 8 \cdot 10^{-8}$ сек. В качестве γ - спектрометра был использован одноканальный сцинтилляционный спектрометр с кристаллом $NaJ(Tl)$ размером 40x40 мм и фотоумножителем ФЭУ 13. Разрешение на линии 662 кэв ^{137}Cs составляло 11%. В β - ветви прибора был использован магнито-линзовый β - спектрометр с разрешением 3% и светосилой 0,2%, определенной по измерению препаратов, калиброванных по абсолютной активности.

Ввиду малого периода полураспада Tm^{164} ($T_{1/2} = 2$ минуты) изучение распада $Tm^{164} \rightarrow Er^{164}$ проводилось в препарате Uv^{164} , где Tm^{164} находится в равновесии с Uv^{164} ($T_{1/2} = 75$ минут).

Препарат Uv получался в результате химического разделения продуктов реакции глубокого отщепления на Ta . Длительность облучения Ta протонами с энергией 680 Мэв составляла 2 часа. Длительность химических операций - также около двух часов. Измерения начинались приблизительно через 40-60 минут после выделения препарата Uv .

Для определения отношения числа β^+ - распадов на основное и первое возбужденное состояние Er^{164} мы изучали совпадения квантов аннигиляционного излучения, возникающего в результате β^+ - распада Tm^{164} с конверсионными электронами $L_{91,5}$ кэв, принадлежащими переходу с первого возбужденного в основное состояние Er^{164} .

Измерения производились следующим образом: γ - каналом выделяли аннигиляционный пик 511 кэв, β - каналом - $L_{91,5}$ кэв и снимали серию кривых задержанных совпадений до полного распада Uv^{164} . Такой метод измерений позволял контролировать постоянство разрешающего времени схемы совпадений и определить число случайных совпадений. γ - спектр препарата и конверсионная линия $L_{91,5}$ показаны на рис.2 и 3.

Результаты измерений показали наличие совпадений между аннигиляционными квантами и конверсионными электронами $L_{91,5}$ Tm^{164} (рис.4). Интенсивность наблюдаемых совпадений убывала с периодом полураспада $T_{1/2} = 76 \pm 2$ минуты, то есть с периодом полураспада Uv^{164} [3], что, несомненно, указывает на принадлежность совпадений исследуемому распаду.

Количественная оценка числа β^+ - распадов на уровень 91,5 кэв производилась сравнением числа истинных и случайных совпадений по следующим формулам:

$$N_{ист} = \beta_{91}^+ (1+\nu) \omega_{511} \varepsilon_{511} \omega_e \varepsilon_e \frac{d_i}{1 + \sum d_i},$$

$$N_{случ} = 2\tau N_{91} \left[\beta_0^+ \omega_{511} \varepsilon_{511} (1+\nu) + N_{фон}(t) \right];$$

где β_0^+ - полное число β^+ -распадов; β_{91}^+ - число β^+ -распадов на уровень 91,5 кэв Eu^{164} ; N_{91} - счет на конверсионной линии L 91; $N_{\text{фон}}(t)$ - изменяющийся со временем фон под аннигиляционным пиком в β^+ -спектре; ν - число тормозных и комптоновских квантов с энергией 511 кэв; α_L - коэффициент конверсии на L - оболочке для перехода 91,5 кэв. Остальные обозначения обычные: ω - светосила по соответствующим каналам; ε - эффективность регистрации; 2τ - разрешающее время схемы совпадений.

Окончательное выражение для искомого отношения имеет вид:

$$\frac{\beta_{91}^+}{\beta_0^+} = \frac{N_{\text{ист}}}{\omega \varepsilon \varepsilon_e \frac{\alpha_L}{1 + \sum \alpha_i}} \cdot \frac{2\tau N_{91}}{N_{\text{случ}} - N_{\text{фон}}(t) \cdot 2\tau N_{91}}.$$

$N_{\text{ист}}$, $N_{\text{случ}}$, N_{91} и $N_{\text{фон}}(t)$ определяются на опыте. Произведение $\omega \varepsilon \varepsilon_e$ (светосила β -спектрометра) предварительно определено измерениями препаратов известной активности.

Коэффициенты конверсии взяты из таблиц Слива и Банд [9] для перехода типа E2, поскольку мультипольность этого перехода установлена ранее [6].

Используя полученные данные, мы нашли, что

$$\frac{\beta_{91}^+}{\beta_0^+} = (33 \pm 4)\%.$$

Определим теперь $\log ft$ для β^+ -распада с граничной энергией 2940 кэв на уровни 0 и 91,5 кэв Eu^{164} . Используя номограммы Мошковского, получаем, что для β^+ -переходы на уровень 91 кэв

$\log ft = 4,8$, а для перехода в основное состояние $\log ft = 4,5$. Эти вычисления произведены без учета K - захвата на вышележащие уровни.

Из работ [7,8] известно о существовании в схеме уровней Eu^{164} ряда переходов с энергиями вплоть до 2200 кэв. Даже если сделать крайнее предположение, что мультипольности всех этих переходов типа E1, то и тогда интенсивность распадов на высокие возбужденные уровни не больше интенсивности распадов на уровни 0^+ и 2^+ . Таким образом, можно утверждать, что $\log ft$ переходов на основное состояние и первый ротационный уровень не больше 4,8 и 5,1, соответственно. Это свидетельствует о разрешенном характере β^+ -распада на основной и первый ротационный уровни Eu^{164} .

Квантовое число K для первого возбужденного и основного состояния Eu^{164} равно 0, а полный момент для этих состояний равен 2^+ и 0^+ , соответственно. Полный момент I основного состояния J_{π}^{164} равен 1^+ , следовательно, K может быть равным 0 или 1. Принимая во внимание разрешенный характер β -переходов на уровни Eu^{164} , найдем отношение приведенных вероятностей β -переходов на уровни $(0,0^+)$ и $(0,2^+)$ по Алаге для двух наборов квантовых чисел I и K (табл. I).

Таблица I

I	K	B_{π}/B_{π}	Эксперим.
1	0	1/2	
1	1	2/1	1,8/1

Сопоставление с экспериментальными данными показывает, что основное состояние J_{π}^{164} имеет квантовые характеристики $K^{\pi} = (1,1^+)$. Эти характеристики и разрешенный характер β -перехода на уровни

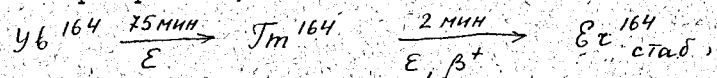
0^+ и 2^+ полностью согласуются с предложенной Галлахером и Соловьевым конфигурацией основного состояния Tm^{164} : $\mu_{1/2} - [523] \uparrow, h_{1/2} - [523] \downarrow$.

П. γ -лучи Tm^{164} в области энергий от 500 кэВ до 3500 кэВ

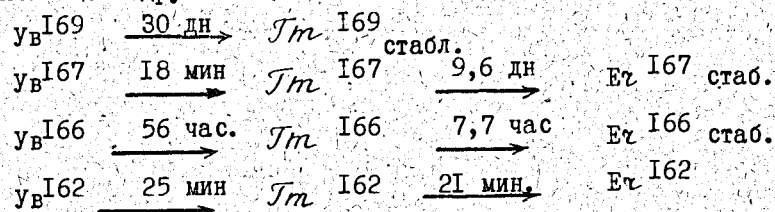
Для исследования γ -лучей Tm^{164} в указанной области мы применяли установку, описанную выше, с той разницей, что для регистрации спектра совпадений был использован многоканальный анализатор АИ-100.

Препарат получали, как и ранее, химическим разделением продуктов реакции глубокого отщепления на Ta . Но поскольку трудности, связанные со сложным изотопным составом источника, приобретают в этих опытах существенное значение, следует подробнее рассмотреть состав фракции Ув, полученной таким путем.

В нашем препарате Ув, помимо исследуемой цепочки изотопов



содержались еще и другие:



Естественно, что вид γ -спектра такого препарата и характер его изменения во времени оказываются весьма сложны. К тому же γ -переходы Tm^{164} в этой области очень малоинтенсивны. В этих

условиях использование метода $e^- - \gamma$ совпадений может существенно облегчить задачу изучения γ -спектра Tm^{164} .

Измерения проводились следующим образом: β -каналом выделяли конверсионную линию $L_{91} Tm^{164}$ - самую сильную, в спектре Tm^{164} , что очень существенно из-за малой светосилы нашего β -спектрометра. γ -каналом регистрировали участки γ -спектра вплоть до 3,5 МэВ. Фильтр, помещенный перед кристаллом γ -детектора, позволял избавиться от нежелательной загрузки детектора мягкими γ -лучами.

Измерения начинались примерно через 1 час после выделения препарата Ув. Сначала в течение 1 часа измеряли спектр совпадений ($L_{91} Tm^{164}$) (γ), затем - спектр случайных совпадений.

Так как линия $L_{91} Tm^{164}$ при разрешении β -спектрометра 3% перекрывалась частично с линией $M80-M81 Yb^{166} + Tm^{166}$ (рис.2), то на следующие сутки (после полного распада Yb^{164}) измеряли ту долю совпадений, которую вносит γ -спектр $Yb^{166} + Tm^{166}$.

Поскольку счет совпадений невелик, а улучшить статистическую точность измерений за счет увеличения времени экспозиции нельзя ввиду сравнительно короткого периода полураспада Yb^{164} ($T_{1/2} = 75$ минут), то каждый участок спектра был исследован неоднократно. Всего было измерено 9 препаратов. В каждом опыте измеряли как спектр совпадений, так и γ -спектр препарата в исследуемой области. Обработка данных состояла в определении энергии линий γ -спектра, в анализе изменения интенсивности линий во времени, определении энергии линий в спектре совпадений, вычитании случайных совпадений за счет ($M80$) (γ) Tm^{166} .

Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 2, иллюстрированной рисунками (3,5,6,7,8,9).

Таблица 2
 γ -лучи Tm^{164} в области энергий 500 - 3500 кэв

Энергии переходов (кэв) по данным [7,8]	$h\nu$ (кэв) в γ -спектре	$h\nu$ (кэв) в спектре совпадений с $L\ 91\ Tm^{164}$
773	770	770
862	860	-
908		
930		
1157	1160	1160
1167		
1226		
1248		
	1300	1300
1677		
1698	1700 (группа)	1700(группа)
1766		
2080		
2171	2100	
2185		
	2400	
	3200	

На рис. 3 показан вид γ -спектра в области до 1200 кэв. Поскольку мы ставили своей задачей изучение жестких γ -лучей Tm^{164} , то участок до 500 кэв мы не рассматриваем, тем более что вид γ -спектра в этой области искажен наличием фильтра.

Кроме интенсивного аннигиляционного пика в спектре отчетливо видны пики от γ -лучей 770 кэв, 860 кэв и 1160 кэв, соответствующие переходам 773 кэв, 862 кэв и 1157 кэв вместе с 1167 кэв, найденным в работах [7,8] при изучении спектра конверсионных электронов. Переходов с энергиями 908 кэв и 930 кэв, указанных [7,8], мы не наблюдаем в γ -спектре препарата, по-видимому, из-за их малой интенсивности.

На рис. 5 изображен γ -спектр в области энергий от 1 Мэв до 2,5 Мэв.

Видны пики от γ -лучей 1160 кэв, 1300 кэв, 1700 кэв и 2100 кэв. Два последних пика соответствуют группам переходов, не разрешенным в γ -спектре.

Переход с энергией 1300 кэв не наблюдался в работах [7,8]. Точность градуировки шкалы энергий в этой области и ширина

γ -линии 1300 кэв, соответствующая приборной ширине, не позволяют считать, что фотопик 1300 кэв есть сложный пик от γ -лучей 1226 кэв и 1248 кэв, указанных в работах [7,8]. Однако принадлежность этого перехода Tm^{164} не вызывает сомнений, поскольку мы наблюдали совпадения γ -лучей 1300 кэв с конверсионными электронами $L\ 91,5$ кэв (рис. 8). Причина расхождения с данными [7,8] может быть связана с тем, что K -линия этого пе-

перехода в пределах разрешающей способности использованного /7,8/ β - спектрометра совпадала с L линией перехода I_{248} кэв.

Если коэффициент конверсии перехода I_{300} кэв невелик, то этот переход мог остаться не замеченным в спектре конверсионных электронов.

Рис. 6. показывает γ - лучи с энергией 2400 кэв. Мы отнесли этот переход Tm^{164} на том основании, что пик 2400 кэв виден только в первые часы после выделения. (Измерить период полураспада сколь-нибудь точно не удастся из-за малой интенсивности линии). Энергия перехода слишком велика, чтобы его можно было отнести к другим короткоживущим изотопам иттербиевой фракции: U_{B}^{164} и U_{B}^{167} - разность масс $U_{B}^{164} \rightarrow Tm^{164}$ составляет всего 1040 кэв, и разность масс $U_{B}^{167} \rightarrow Tm^{167}$ составляет 1158 кэв. Некоторым дополнительным аргументом в пользу выданного предположения может служить тот факт, что в предварительных опытах с препаратом Tm^{164} , выделенным из иттербия, мы также наблюдаем γ - лучи 2400 кэв. Однако пока мы не можем полностью исключить возможность, что этот переход возникает в цепочке распадов $U_{B}^{162} \xrightarrow{25 \text{ минут}} Tm^{162} \xrightarrow{21 \text{ мин.}} Er^{162}$.

Все сказанное относится также к γ - лучам с энергией 3200 ± 200 кэв (рис.7).

Спектр совпадений γ - лучей с конверсионными электронами $L_{91,5} Tm^{164}$ показан на рис.8 и 9. Случайные совпадения на рисунках не показаны, так как число их невелико: не выше 12% от полного эффекта. Число совпадений за счет $M_{80} Tm^{166}$ (рис.2) еще меньше - не более 5% от полного счета совпадений.

В спектре совпадений γ - лучей с конверсионными электронами $L_{91,5} Tm^{164}$ наблюдаются переходы 770 кэв, 1160 кэв, 1300 кэв, сложный пик 1700 кэв. В области больших энергий число совпадений превышает число случайных совпадений, однако интенсивность счета совпадений слишком мала, чтобы делать определенные заключения.

Наблюдаемые совпадения находятся в согласии со схемой распада (рис.1), предложенной /8/.

Наличие совпадений электронов перехода 91,5 кэв с γ - лучами 770 кэв и отсутствие совпадений с γ - лучами 860 кэв подтверждает правильность расположения уровня 862 кэв. Уровень 1250 кэв подтверждается совпадениями с γ - лучами 1160 кэв. Переход с энергией 1300 кэв находит себе место между уровнями 2171 и 862 кэв и дает совпадения с переходом 91,5 кэв через γ - лучи 770 кэв.

Сложный пик совпадений с энергией 1700 кэв объясняется отчасти совпадениями γ - лучей 1677 кэв с уровня 1768 кэв. Если предположить, что наблюдаемый γ - переход $h\nu = 2400$ кэв (рис.6) определяет положение уровня в схеме распада Tm^{164} , то находит место переход с энергией 1698 кэв, указанный /7,8/, но не размещенный в схеме распада, и объясняется сложный характер пика совпадений в районе 1700 кэв, т.к. γ - лучи 1698 кэв при таком расположении будут давать совпадения с переходом 91 кэв через γ - лучи 770 кэв.

Л и т е р а т у р а

1. W.E.Nervik, G.T.Seaborg. Phys. Rev., 97, 1092 (1955).
2. А.В.Калямин, И.О.Левенберг, В.А.Яковлев. Атомная энергия, 5, 582, №5 (1959).
3. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Д.В.Норсеев, Г.Я.Умаров, В.Г.Чумин. Материалы II совещания по ядерной спектроскопии нейтродефицитных изотопов редких земель, т. II. Препринт ОИЯИ Р-475, Дубна, 1959.
4. I.W.Mihelich, B.Narmatz, T.H.Handley. Phys. Rev., 158, 988 (1957).
5. Г.Ф.Драницына. Массы ядер в области редких земель. Материалы IV совещания по ядерной спектроскопии нейтродефицитных изотопов и теории ядра. Препринт ОИЯИ Р-959, Дубна, 1962.
6. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.Далхсурен, Б.С.Джелепов, И.О.Левенберг, А.Н.Мулин, Д.В.Норсеев, В.Н.Покровский, В.Г.Чумин, И.А.Отландов. Препринт ОИЯИ Р-493, Дубна, 1960.
7. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Зыонг Чонг Бай, В.А.Халкин, В.Г.Чумин, Материалы III совещания по нейтродефицитным изотопам, т. I. Препринт ОИЯИ Р-613, Дубна, 1960.
8. К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, Л.Н.Никитюк, В.Г.Чумин. Тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде, стр.42, 1962.
9. Л.А.Слив, И.М.Банд. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии γ -излучения, часть I, K-оболочка, и часть II, L-оболочка.

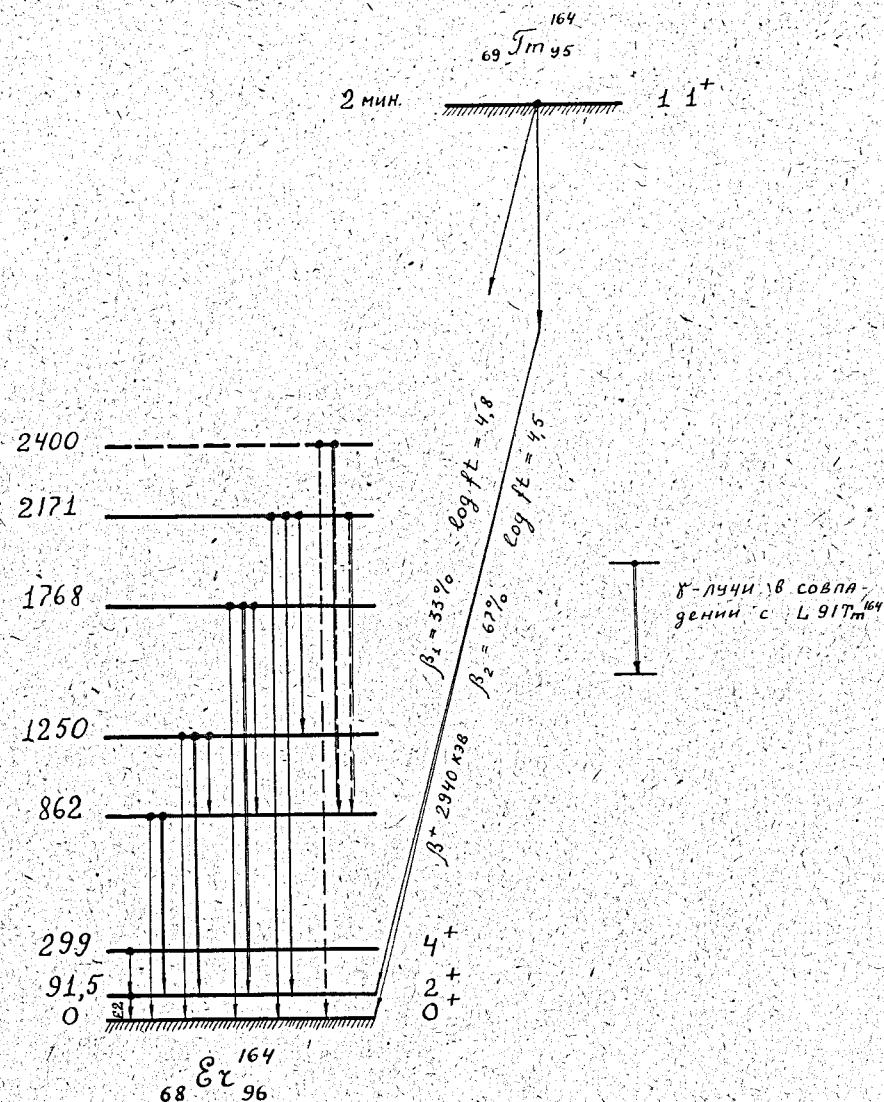


Рис. I. Схема распада ^{164}Tm .

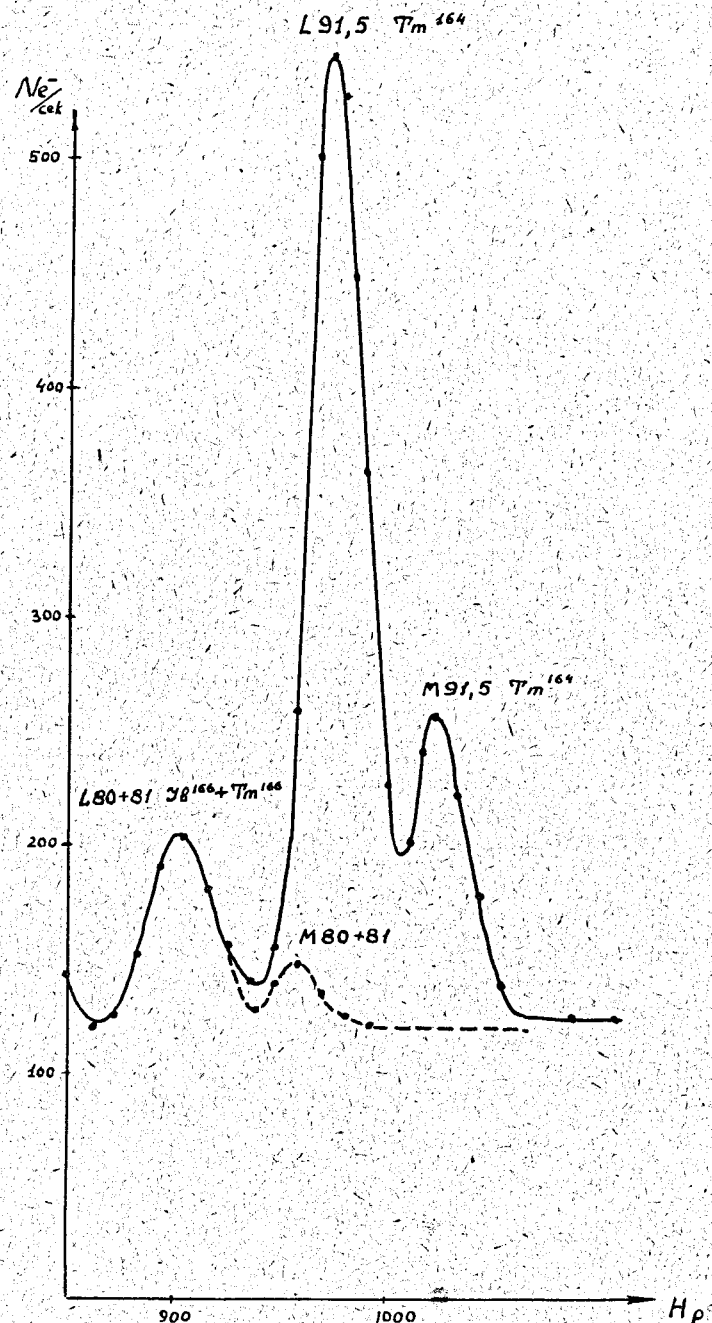


Рис.2. Конверсионная линия $L 91,5 Tm^{164}$.

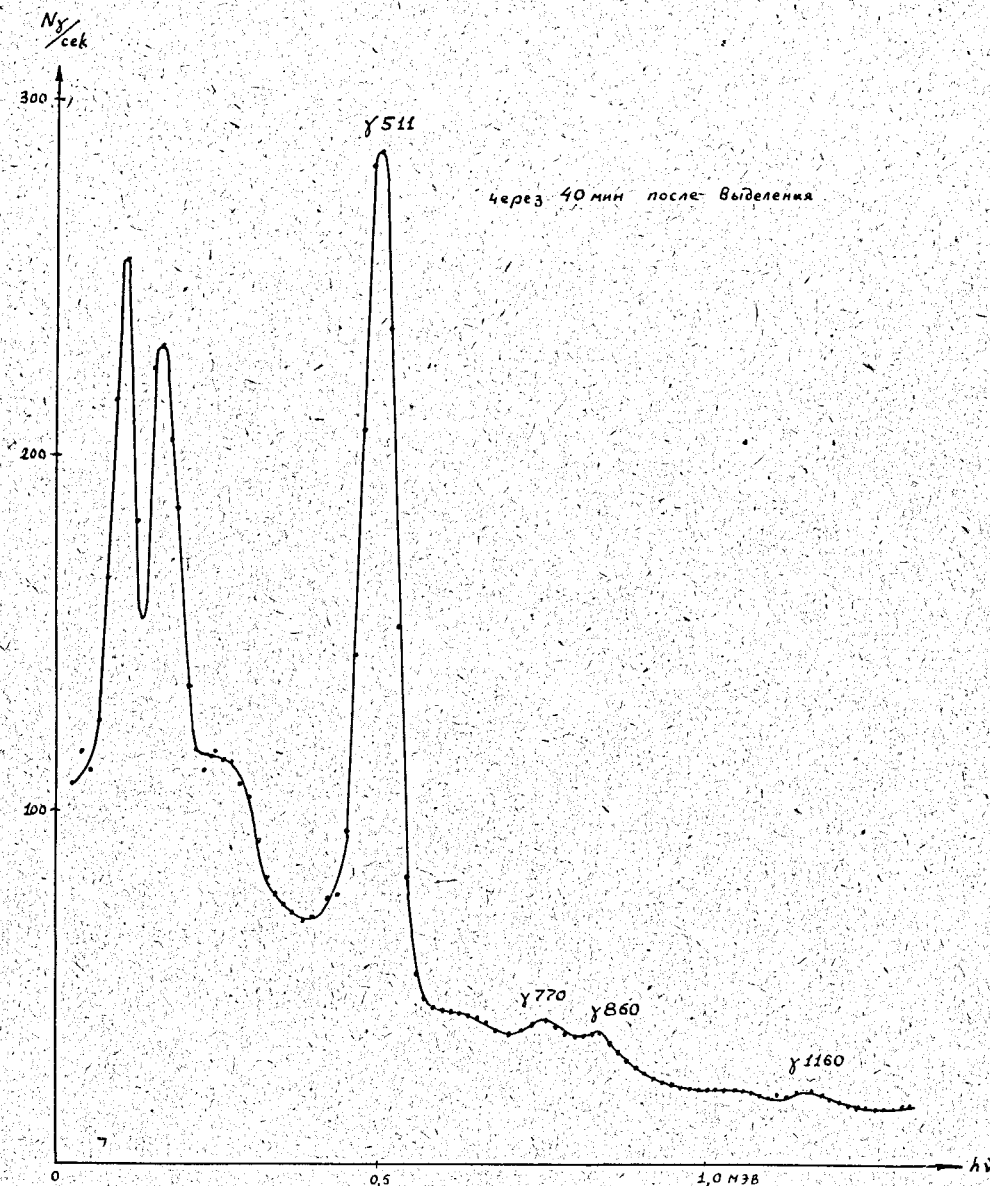


Рис.3. γ - спектр препарата YB через 1 час после выделения.

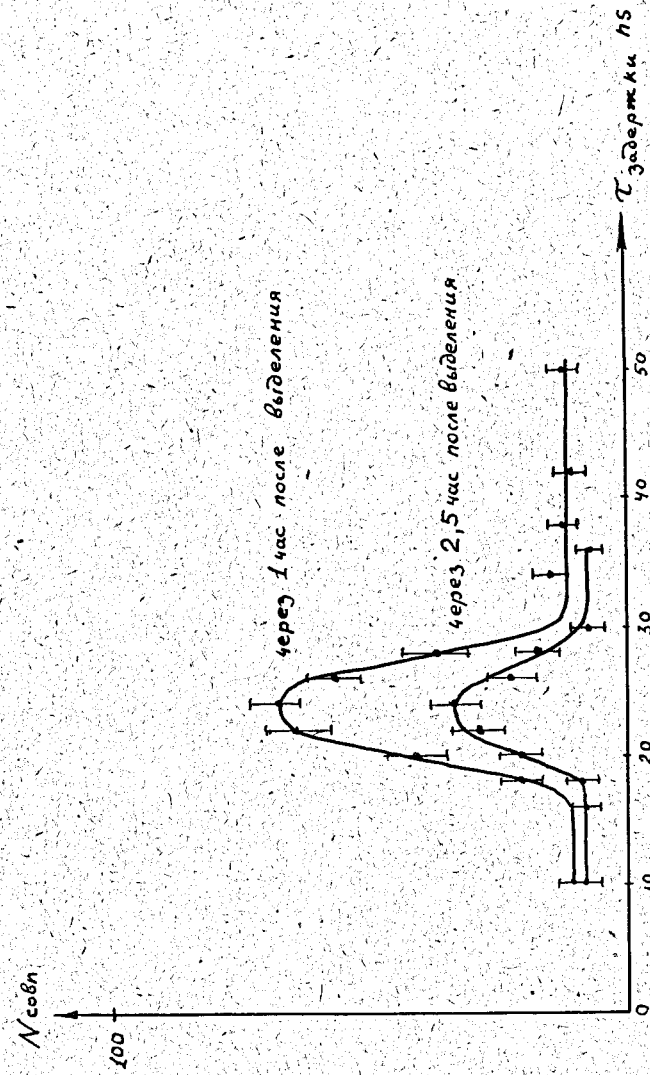


Рис.4. Совпадения конверсионных электронов I_{64} с γ -лучами аннигиляции.

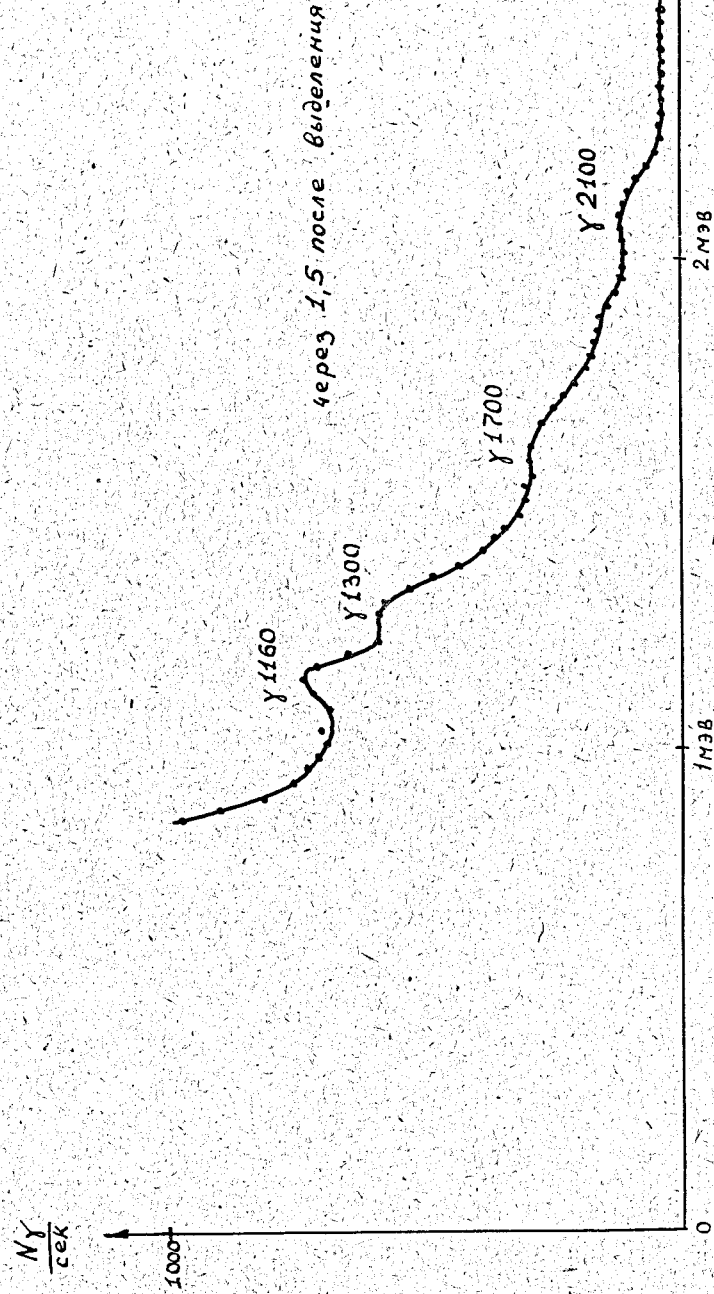


Рис.5. γ - спектр I_{64} в области энергий от 1 Мэв до 2,5 Мэв.

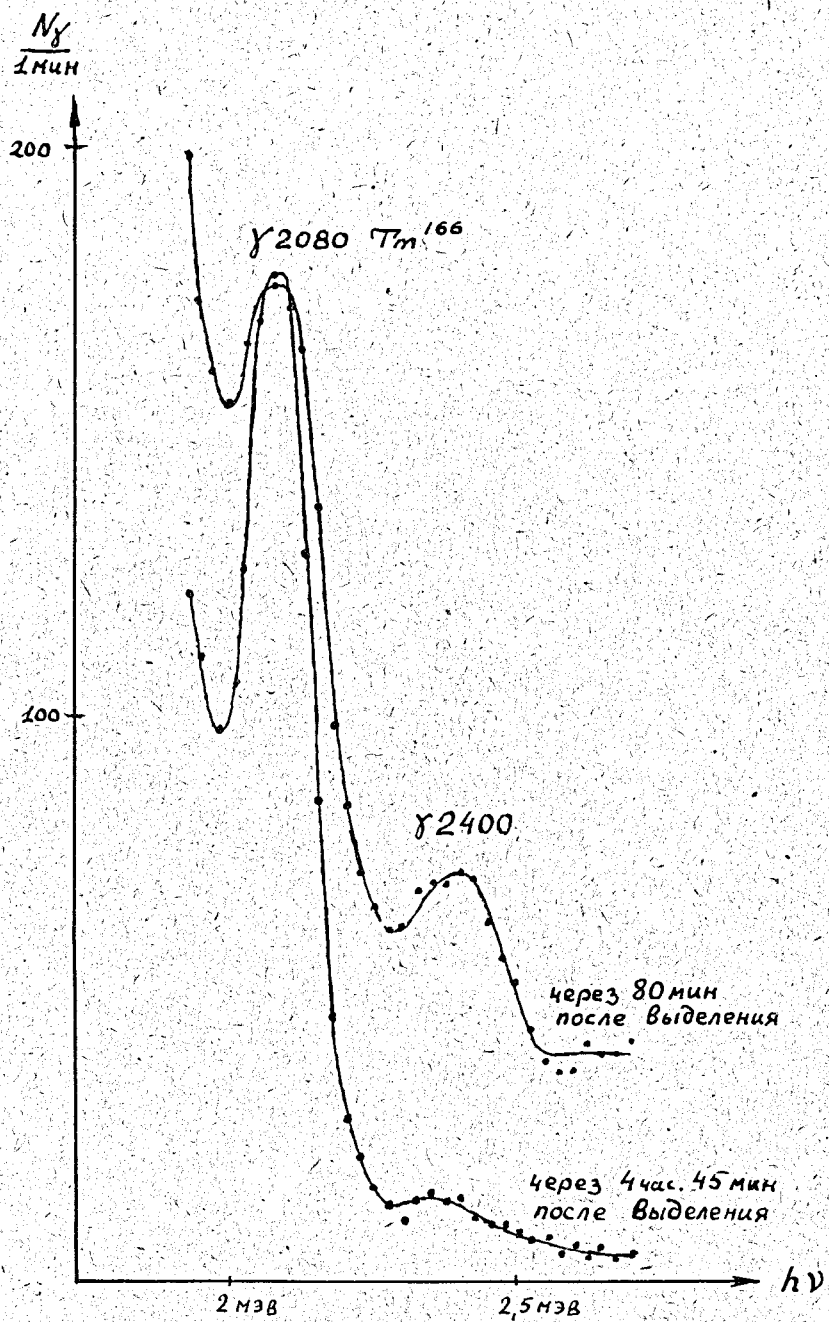


Рис.6. γ - лучи $h\nu = 2400$ кэв.

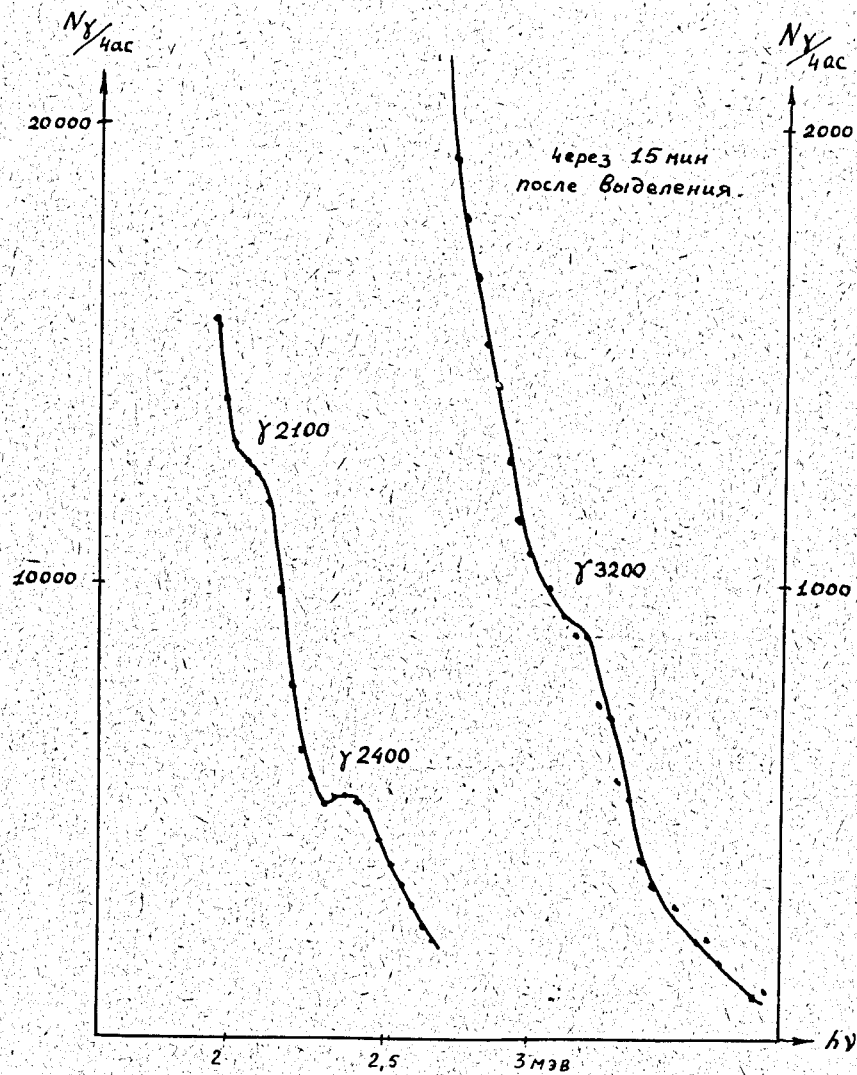


Рис.7. γ - лучи $h\nu = 2400$ кэв и $h\nu = 3200$ кэв.

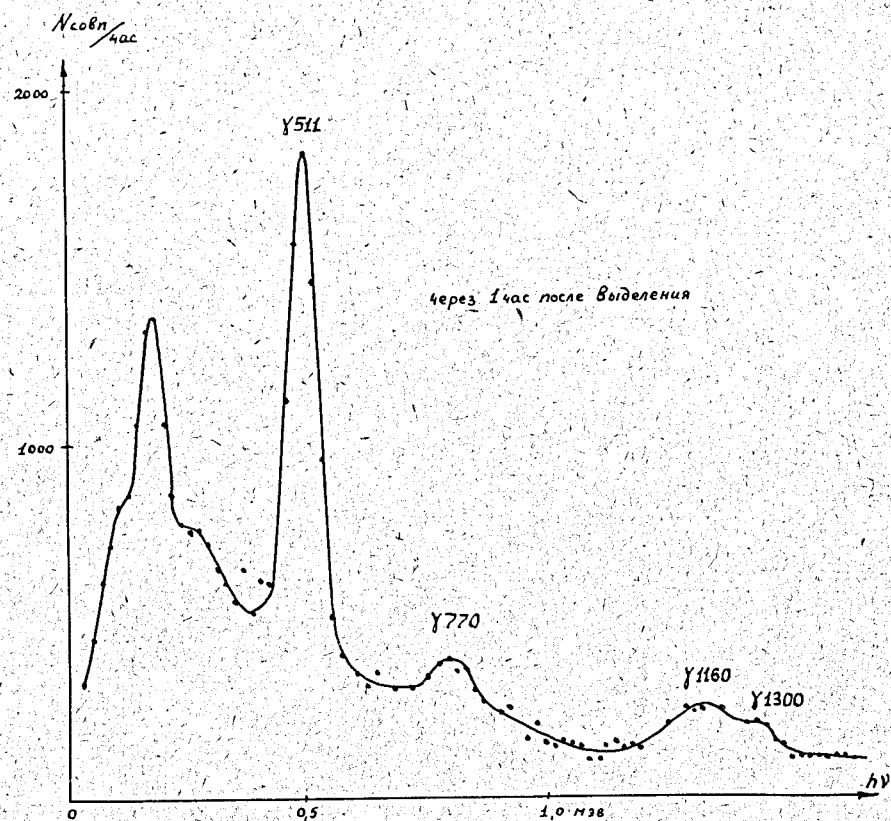


Рис. 8. Совпадения $L\ 91,5\ Tm\ 164$ с γ -лучами 511 кэв; 770 кэв, 1160 кэв и 1300 кэв.

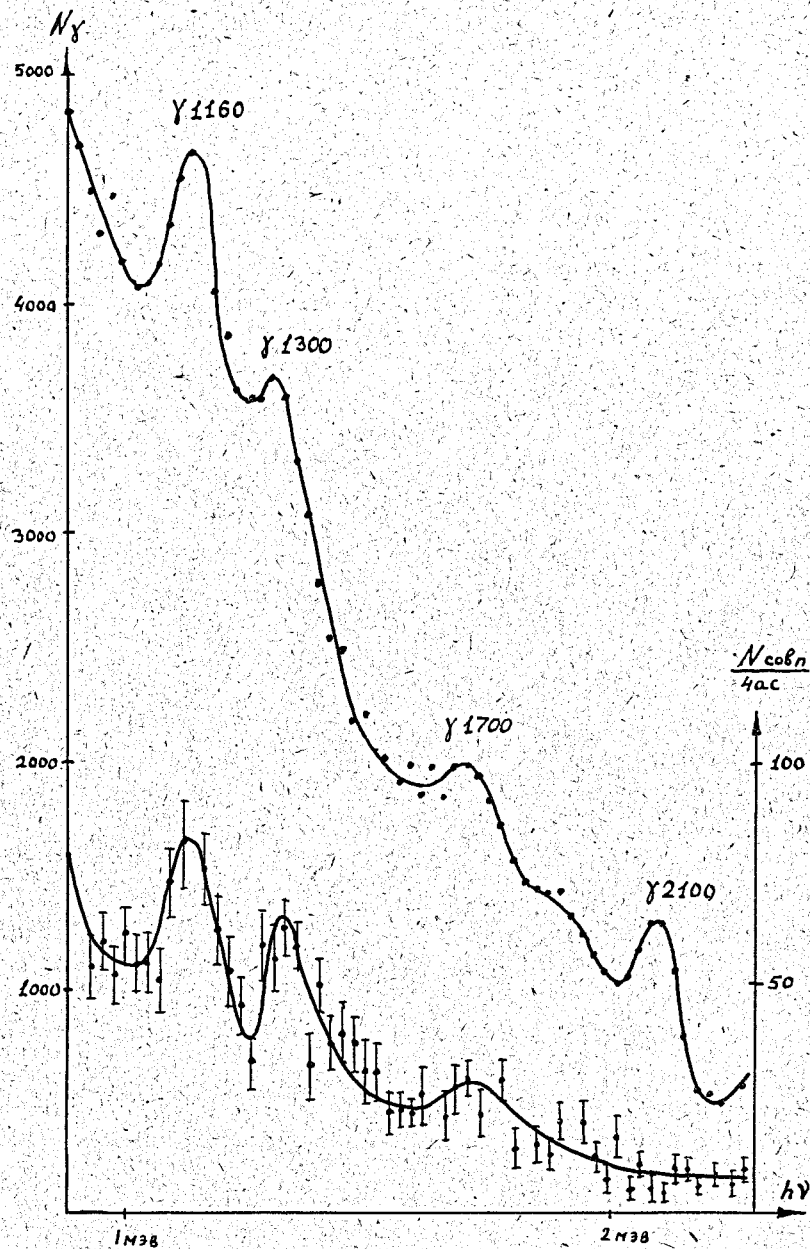


Рис. 9. γ -спектр и совпадения $L\ 91,5\ Tm\ 164$ с γ -лучами 1160 кэв, 1300 кэв и 1700 кэв.

О РАСПАДЕ No^{155}

В работах Калямина и др. ^{/1/} и Далхсурена и др. ^{/2/} сообщалось об открытии изотопа No^{155} в продуктах реакции тантала с быстрыми протонами ($E_p = 660$ Мэв), полученными на синхротроне ОИЯИ. Измеренный радиохимическим способом ^{/2/} период полураспада оказался равным 46 ± 3 мин. Абдуразаковым и др. ^{/3/} был измерен спектр конверсионных электронов изотопов гольмия на магнитном β -спектрографе. В этом спектре были найдены L -, M - и N -линии перехода с энергией $39,55$ кэв в Dy^{155} , который был отнесен к распаду $\text{No}^{155} \rightarrow \text{Dy}^{155}$.

Трудность идентификации изотопа, в котором происходит конверсионный переход, заключается в присутствии в препарате других изотопов No , среди которых есть No^{156} , распадающийся с близким периодом полураспада 56 ± 2 мин ^{/4,5/}.

Нами исследовались L_I -, L_{II} - и L_{III} -линии перехода $39,55$ кэв на β -спектрометре с двойной фокусировкой с приборной разрешающей способностью $0,15\%$. Некоторое уширение линий происходило за счет толщины препарата. Все три наблюдаемые линии спадали с одинаковым периодом полураспада (рис.1). Среднее значение периода оказалось равным $T_{1/2} = 51 \pm 2$ мин., что несколько выше значения 46 ± 3 мин., полученного в работе ^{/2/}. По-видимому, прямой метод определения спадания интенсивности конверсионных линий может дать большую точность, чем радиохимический метод многократных выделений дочернего изотопа Dy^{155} , примененный в ^{/2/}.

Соотношение интенсивностей L_I -, L_{II} - и L_{III} -линий, определенное по 7 сериям измерений, равно $(1,55 \pm 0,10)$: $(0,92 \pm 0,05):1$. Эти значения можно сопоставить с теоретическими отношениями $L_I : L_{II} : L_{III}$ для различных мультипольностей и сделать заключение о мультипольности перехода. Из таблицы I видно, что найденное отношение не позволяет отнести переход $39,5$ кэв к типу $E1$, хотя, если сделать предположение, что это чистый по мультипольности переход, то теоретические значения отношений для $E1$ -перехода наиболее близки к наблюдаемым. Примесь $M2$, которая нередко наблюдается в $E1$ -переходах, не улучшает согласия теории и опыта.

Таблица I

Сравнение экспериментальных отношений L_I/L_{III} и L_{II}/L_{III} с теоретическими значениями для перехода $39,5$ кэв в Dy^{155}

Отношение	$E1$	$E2$	$E3$	$M1$	$M2$	$M3$	Опыт
L_I/L_{III}	1,44	0,008	0,012	62	2,4	0,32	$1,55 \pm 0,10$
L_{II}/L_{III}	0,72	0,79	0,86	5,9	0,20	0,035	$0,92 \pm 0,05$

Из таблицы I следует, что переход $39,5$ кэв является смешанным, и его мультипольность $M1+E2$. Для определения состава смеси использовались теоретические значения коэффициентов конверсии для $M1$ и $E2$ -переходов ^{/6/}. Они приведены в таблице 2.

Таблица 2

Теоретические значения коэффициентов конверсии для
M1- и M2-переходов

$E_{\gamma} = 39,5$ кэв, $Z = 66$

Оболочка	M1	E2
L_1	4,2	0,50
L_{II}	0,39	48,4
L_{III}	0,065	60

Вычисленные из различных отношений величины смеси
 $\delta^2 = I_{E2} / I_{M1}$ оказались довольно близкими между собой.

Отношение L_1 / L_{III} дало $\delta^2 = 0,044 \pm 0,003$,

Отношение L_1 / L_{II} - $\delta^2 = 0,044 \pm 0,004$ и

отношение L_{II} / L_{III} - $\delta^2 = 0,048 \pm 0,024$.

Приведенная здесь погрешность включает экспериментальную ошибку при определении относительных интенсивностей линий. Учет возможной ошибки при вычислениях коэффициентов конверсии путем интерполирования может увеличить погрешность еще на 5-10%.

Неточность в коэффициентах конверсии за счет использования приближенных методов учета экранирования, составляющая 5%, увеличит нашу погрешность еще на 10-15%. Таким образом, величину смеси следует считать равной:

$$\delta^2 = 0,044 \pm 0,011.$$

По теоретическим значениям коэффициентов конверсии и экспериментальному значению δ^2 определен коэффициент конверсии на L - оболочке:

$$\alpha_L = 9,1.$$

Считая отношение $L/(M+N)$ равным ~ 3 по аналогии с рядом других переходов [7] получаем долю L - конверсионных электронов от полной интенсивности перехода:

$$I_L / I_{\text{полн}} = 0,7.$$

Но ^{155}Ho превращается в радиоактивный изотоп ^{155}Dy , период полураспада которого равен 10 часам. При распаде $^{155}\text{Dy} \rightarrow ^{155}\text{Tb}$ возникает спектр γ - лучей, в котором наиболее интенсивный переход имеет энергию 227 кэв и мультипольность E1. Этот переход происходит в 55% случаев распада ^{155}Dy [8]. Вскоре после распада ^{155}Ho нами была измерена K - конверсионная линия перехода 227 кэв ^{155}Dy , что позволило определить число L - конверсионных электронов перехода 39,5 кэв ^{155}Ho на один акт распада. Интенсивность этой линии была приведена к моменту отделения гольмиевой фракции от диспрозиевой на хроматографической колонке по установленному нами периоду полураспада $T_{1/2} = 51$ мин; и интенсивность K-линии 227 кэв ^{155}Dy по сложной кривой распада также была приведена к тому же начальному времени. Отношение их интенсивностей равно 0,08. Учтя долю распадов через переход 227 кэв и взяв теоретический коэффициент конверсии $\alpha_K = 0,028$, а также периоды полураспада обоих изотопов, мы получили, что число L - кон-

версионных электронов на распад Ho^{155} составляет 0,10, и через переход 39,5 кэв идет $\sim 14\%$ распадов Ho^{155} . Учитывая возможные ошибки в определении интенсивностей линии, периода полураспада и времени выделения, следует считать, что погрешность в определении этой величины составляет $< 30\%$.

В этом же источнике была обнаружена самая сильная K -линия конверсионного спектра Dy^{157} перехода с энергией 327 кэв. Ее интенсивность на время выделения фракции гольмия составляла 2% от интенсивности линии $K-227 \text{ Dy}^{155}$. В препаратах диспрозия, полученных в аналогичных условиях, ее интенсивность в 50 раз больше. Можно предполагать, что присутствие линии Dy^{157} связано с распадом неизвестного пока изотопа Ho^{157} , если его период полураспада составляет 10-20 минут. Однако нельзя исключить возможность присутствия Dy^{157} в гольмиевой фракции в виде примеси.

Авторы благодарны химикам радиохимического отдела ОИЯИ за выделение радиоактивных изотопов гольмия.

Примечание при корректуре

При изучении фракции Ho одним из авторов (Е.П.Г.) совместно с М.П.Авотиной измерены K -конверсионные линии γ -переходов с энергией 115,4, 136,2, 162,8 кэв. Их интенсивность убывала с периодом 42 ± 2 мин, что позволяет отнести эти переходы к распаду Ho^{155} . Требуется объяснение довольно большого периода убывания интенсивности L_I , L_{II} и L_{III} - линий перехода 39,5 кэв.

Л и т е р а т у р а

1. А.В. Калямин, И.Ю. Левенберг, В.А. Яковлев. Атомная энергия, 6, 582 (1959).
2. Б. Далхсурен, И.Ю. Левенберг, Ю.В. Норсеев, В.Н. Покровский, С.С. Хойнацкий. Атомная энергия, 8, 248 (1960).
3. А.А. Абдуразаков. Доклад на 13-м ежегодном совещании по ядерной спектроскопии в Киеве (1963).
4. К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Зыонг Чонг Бай, В.Г. Чумин. Материалы 2-го совещания по нейтронодефицитным изотопам, т.3, 37, Дубна (1959).
5. Е.П. Григорьев, Б.С. Джелепов. ДАН СССР, 135, 564 (1960).
6. Гамма-лучи. Изд. АН СССР, 1961, стр. 398.
7. М.А. Листенгартен. Изв. АН СССР, сер. физ., 22, 759 (1958).
8. Я. Урбанец, И. Кайфаш, И. Звольский, А. Новгородов. Препринт ОИЯИ Р-1178, Дубна, 1962.

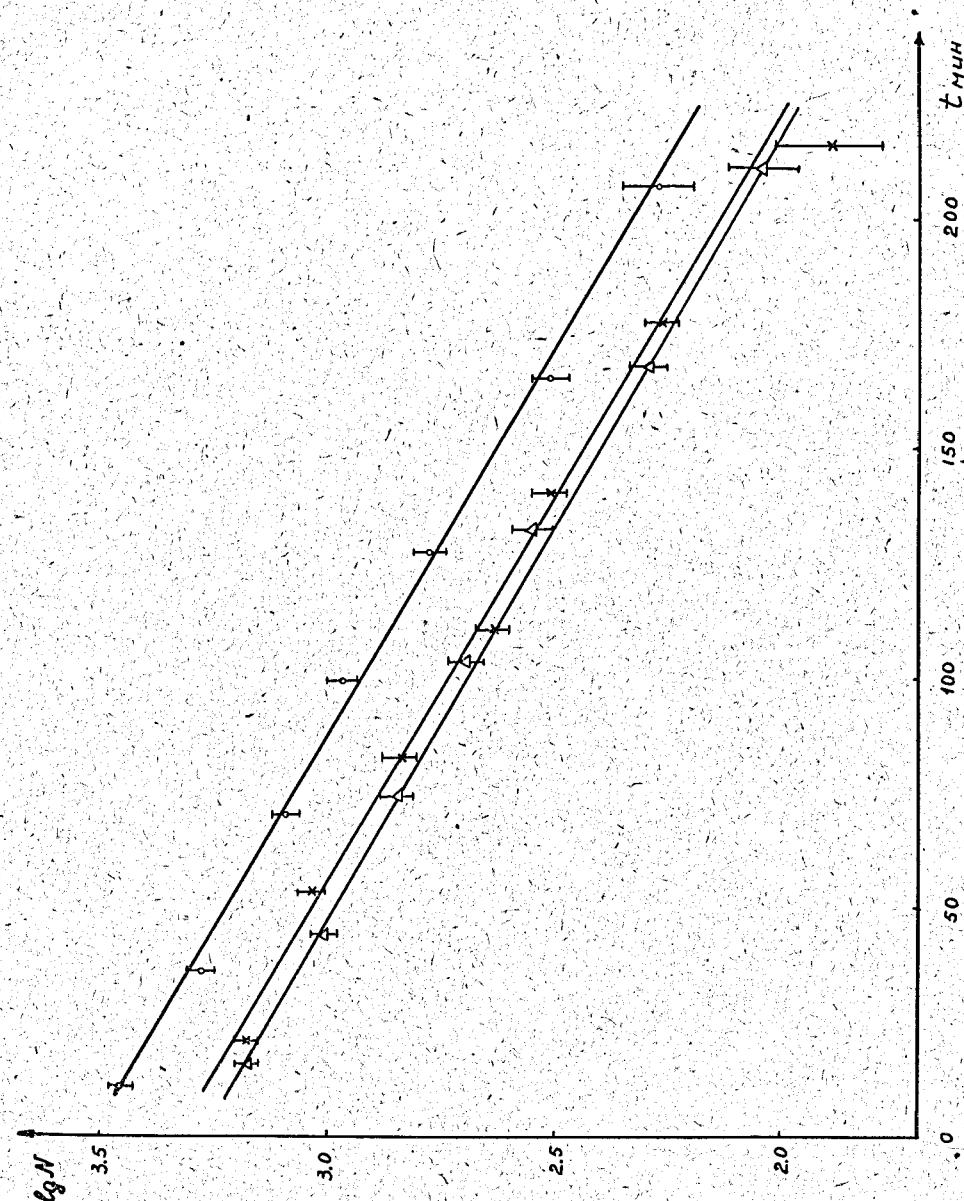


Рис.1. Кривые спада интенсивности L_I , L_{II} и L_{III} - линий перехода 39,5 кэв No^{155} . • - L_I , Δ - L_{II} , x - L_{III} . $T_{1/2} = 51 \pm 2$ мин.

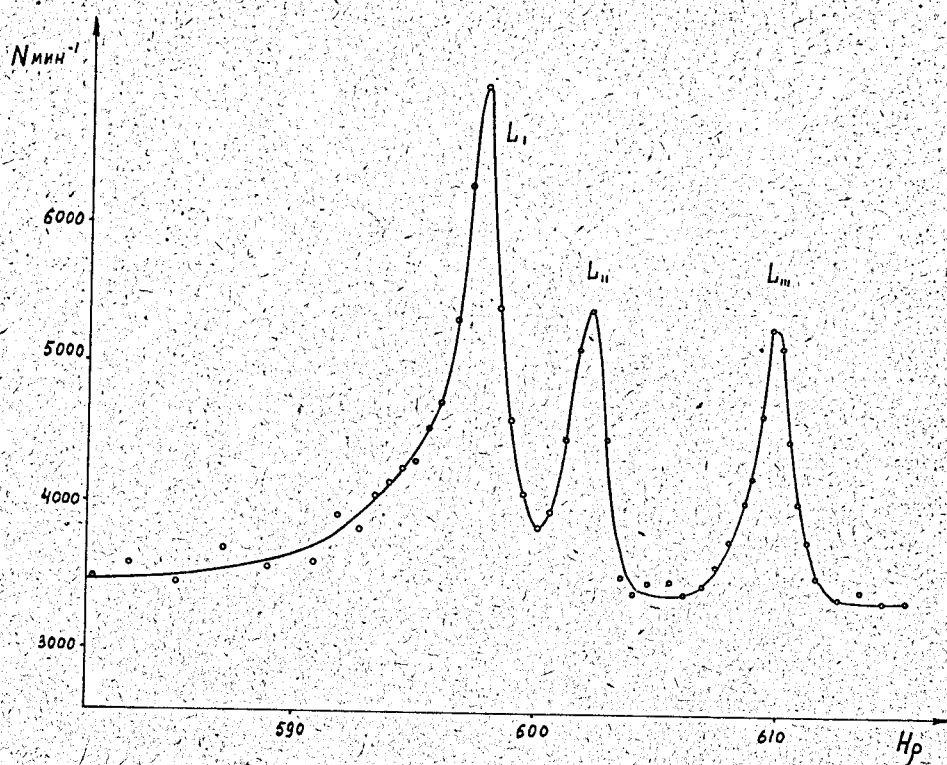


Рис.2. L_I , L_{II} и L_{III} - линии перехода 39,5 кэВ
 No 155. Спектр снят через 2 часа после начала измерений.
 Введена поправка на период полураспада No 155.

А.С. Басина, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Д. Енчев, Ж. Желев,
 В.А. Морозов, А.Ф. Новгородов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЗИТРОННОГО СПЕКТРА Dy^{155}

Позитронное излучение препарата диспрозия, выделенного из продуктов расщепления тантала быстрыми протонами, изучено впервые в работе Джелепова и др. /1/ на β - спектрометре с трехкратной фокусировкой.

Обнаруженный β^+ - спектр с граничной энергией (850 ± 50) кэВ по периоду полураспада был отнесен к Dy^{155} .

На основании изучения спектра конверсионных электронов была предложена предположительная схема распада Dy^{155} , где β^+ - распад с граничной энергией 850 кэВ был направлен в основное состояние TB^{155} .

В последующих работах /2-5/ продолжалось подробное исследование схемы распада Dy^{155} .

На основе определения интенсивности γ - лучей и совпадений с γ - квантами перехода 227 кэВ Dy^{155} Урбанец и др. /6/ пришли к заключению, что β^+ - распад с граничной энергией 850 кэВ происходит на уровень 227 кэВ TB^{155} , и оценили $\log ft$ для этого распада: $\log ft = 6,3 \pm 0,2$.

В настоящей работе поставлена задача:

I. Доказать, что β^+ - спектр, наблюдавшийся /1/, принадлежит Dy^{155} .

2. Определить отношение числа позитронов к числу K -электронов перехода 227 кэВ Dy^{155} .

3. Установить, на какой из уровней Tb^{155} происходит β^+ -распад с граничной энергией 850 кэВ.

В измерениях мы использовали препарат чистого Dy^{155} , полученный следующим путем: из тантала, облученного протонами, выделяли фракцию гольмия, содержащую родительский No^{155} в числе других нейтронодефицитных изотопов No с массовыми числами от 164 до 155. Затем, после накопления Dy^{155} (No^{155} 45 мин Dy^{155}), выделяли Dy из No . Поскольку изотопы гольмия с массовыми числами 164-158 и 156 распадаются в стабильные изотопы диспрозия, а о существовании No^{157} пока неизвестно, то результатом повторного выделения является чистый Dy^{155} , что подтверждается исследованием спектра конверсионных электронов препарата, полученного таким образом /5/.

А. Определение отношения числа позитронов к числу электронов K -конверсионной линии перехода с энергией 227 кэВ.

В этих опытах, проведенных с помощью β -спектрометра с трехкратной фокусировкой, нами была использована двойная счетчиковая камера в режиме двойных совпадений. Обе пленки, находящиеся одна на входном окне, а другая на задней стенке первого счетчика, пропускали позитроны с энергией около 20 кэВ при регистрации совпадений между двумя счетчиками. Поэтому область искажения спектра в этих условиях не превышает 130 кэВ. Разрешающая способность спектрометра 1,7%. На рис. I приведены позитронный спектр Dy^{155} с $E_{гр} = 860$ кэВ и K -конверсионная линия перехода с $h\nu = 227$ кэВ. Отношение $\frac{S_{\beta^+ 860}}{S_{K 227}} = 0,82 \pm 0,10$.

Б. Совпадения позитронов с γ -лучами $h\nu = 227$ кэВ. Измерения совпадений проводились с помощью быстро-медленной схемы β - γ -совпадений ($2\tau = 7,9 \cdot 10^{-8}$ сек.). В β -ветви был использован линзовый β -спектрометр с винтовыми диафрагмами, которые позволяли отделить позитроны от электронов конверсии и наблюдать β^+ -спектр с граничной энергией (860 \pm 40) кэВ. γ -спектрометр регистрировал γ -лучи с энергией до 300 кэВ. В одиночном γ -спектре был четко виден интенсивный пик с энергией $h\nu = 227$ кэВ.

При измерении спектра совпадений β -спектрометром выделяли позитроны с энергией 400 кэВ, соответствующей максимуму β^+ -спектра. Спектр совпадений регистрировался многоканальным анализатором АИ-100.

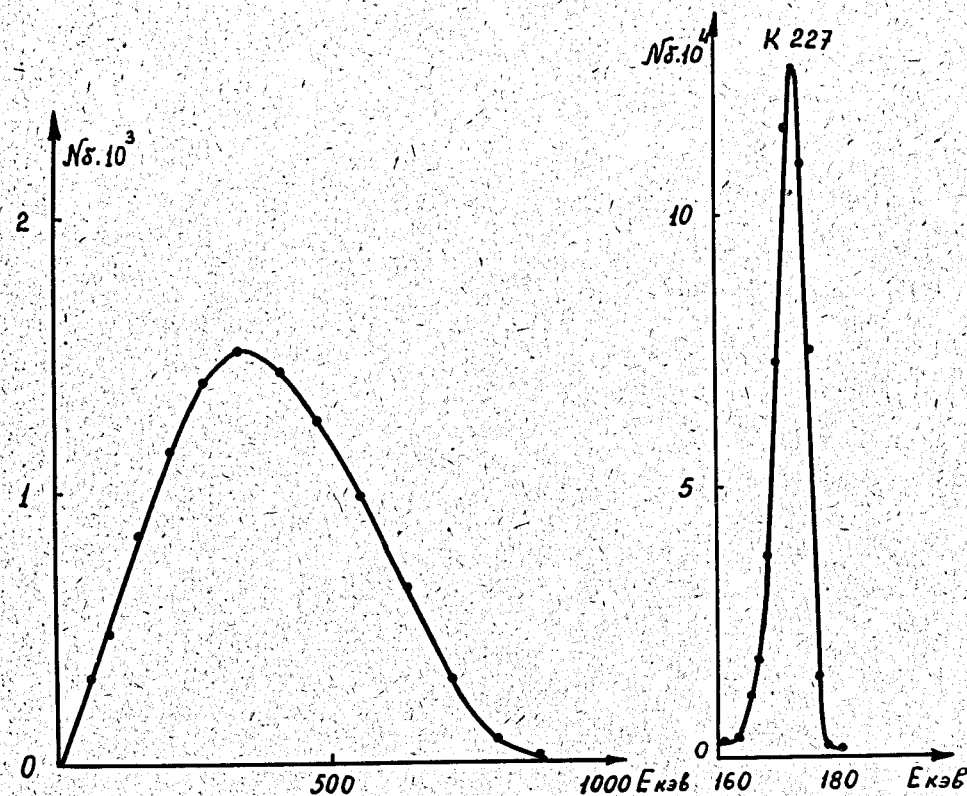
Интенсивность наблюдаемых совпадений $\beta^+ (400 \text{ кэВ}) + \gamma^{227}$ позволяет сделать вывод, что (70 \pm 30)% β^+ -распадов Dy^{155} происходит на уровень Tb^{155} с энергией 227 кэВ.

Таким образом, из наших данных следует, что β^+ -спектр с граничной энергией 860 кэВ, несомненно, принадлежит Dy^{155} . Полученное нами значение $\log ft = 6,2$ хорошо подтверждает данные работы /6/.

Л и т е р а т у р а

1. Б.Джелепов, О.Крафт, Б.Преображенский, Г.Юшкевич. Изв. АН СССР, сер. физ., 22, 208 (1958).
2. K.S.Toth, J.O.Rasmussen, Phys.Rev., 115, 150 (1959).
3. Е.Григорьев, Б.Джелепов, В.Звольска, И.Звольский, И.Адам, В.Халкин. Материалы III совещания по нейтронодефицитным изотопам, т. I, стр.209. Препринт ОИЯИ Р-613, Дубна, 1960.
4. Б.Джелепов, И.Звольский, В.Сергиенко. Материалы III совещания по нейтронодефицитным изотопам, т.2, 150. Препринт ОИЯИ Р-712, Дубна, 1961.
5. Б.Джелепов, В.Звольска, И.Звольский. Программа и тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде, 1962.
6. Я.Урбанец, И.Кайфос, И.Звольский, А.Новгородов. Препринт ОИЯИ Р-1178, Дубна, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 ноября 1963 г.



Р и с. I. β -спектр ^{155}Dy и K-конверсионная линия $h\nu = 227$ кэВ.