

10/1 - 71

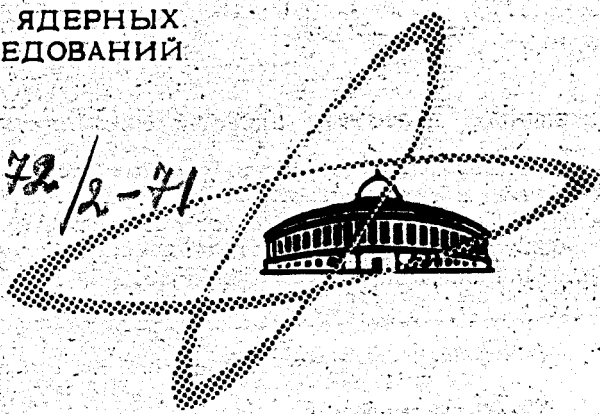
A-828

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 5681

1472/2-71



Р. Арльт, Г. Байер, В. В. Кузнецов, В. Нойберт,  
А. В. Потемпа, У. Хагеманн, Э. Херрманн

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

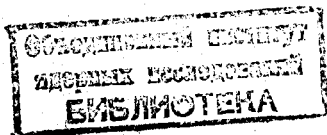
ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОМЕРОВ  
ИЗОТОПОВ ТЕРБИЯ <sup>148</sup>Ть, <sup>149</sup>Ть, <sup>150</sup>Ть  
И <sup>152</sup>Ть

**Р6 - 5681**

**Р. Арльт, Г. Байер, В.В. Кузнецов В. Нойберт,  
А.В. Потемпа, У. Хагеманн, Э. Херрманн**

**ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОМЕРОВ  
ИЗОТОПОВ ТЕРБИЯ  $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$   
И  $^{152}\text{Tb}$**

Направлено в "Известия АН СССР"



Арльт Р., Байер Г., Кузнецов В.В., Нойберт В., Потемпа А.В., Хагеманн У., Херрманн Э. P6-5681

Исследования короткоживущих изомеров изотопов тербия  
 $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$ ,  $^{152}\text{Tb}$

Обнаружен ряд новых гамма-переходов, возникающих при распаде изомеров  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{152}\text{Tb}$ , а также при распаде неизвестных до сих пор изомеров  $^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = (6,0 \pm 0,1)$  мин), и  $^{148}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = (2,1 \pm 0,1)$  мин.)

Предлагаются фрагменты схемы распада для исследуемых изомеров.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1971**

Arlt R., Beyer G., Kuznetsov V.V., Neubert V., Potempa A.V., Hagemann U., Herrmann E. P6-5681

Investigation of Short-Lived Isomers of the Terbium  
Isotopes -  $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$ ,  $^{152}\text{Tb}$

A number of new  $\gamma$  - transitions produced in the decay of  $^{149}\text{Tb}$  and  $^{152}\text{Tb}$  isomers as well as in the decay of unknown till now isomers  $^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = (6.0 \pm 0.1)$  min), and  $^{148}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = (2.1 \pm 0.1)$  min) is observed.

The fragments of the decay scheme for the investigated isotopes are suggested.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1971**

Короткоживущие изотопы тербия получались в ядерных реакциях расщепления диспрозия на внешнем пучке протонов с энергией 680 Мэв синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с последующим радиохимическим выделением и в ядерных реакциях  $^{139}\text{La} (^{16}\text{O}, \text{xn})$   $^{148-152}\text{Tb}$  и  $^{141}\text{Pr} (^{12}\text{C}, \text{xn})$   $^{148-150}\text{Tb}$  на ускорителе тяжелых ионов У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Мишени в виде порошкообразного комплекса  $[(\text{NH}_4)_2 (\text{Dy} - \text{ДТРА})]^{x/}$  весом 1,0 г облучались в течение 5 минут на внешнем пучке протонов. Транспортировка ампулы с веществом мишени до места химического разделения осуществлялась с помощью пневматической почты. Техника эксперимента подробно описана в <sup>1,2/</sup>. После облучения мишень растворялась в 25 мл воды. Продукты расщепления, находившиеся в незакомплексованной форме в виде трехвалентных ионов редкоземельных элементов сорбировались катионитом Дауэкс 50 x 8. Через 2 минуты после конца облучения смола отделялась от раствора центрифугированием, промывалась водой и наносилась на хроматографическую колонку (2 x 100 мм) с этой же смолой в  $\text{NH}_4$ -форме. В качестве элюента использовался 0,5 М раствор альфа-оксизобутирата аммония. Скорость вымывания - 1 капля-/15 сек. Изотопы тербия получались спустя 11 минут после конца облучения в объеме 0,1 мл.

<sup>x/</sup> ДТРА - диэтилентриаминпентауксусная кислота.

x/ RE - редкоземельные элементы.

Химическая методика выделения продуктов расщепления из мишеней вида  $(NH_4)_2(RE^{**}-УРА)$  описана в работе  $\frac{1/3}{3}$ .

Измерения гамма-спектров изотопов тербия проводились в камерном центре Лаборатории ядерных проблем с помощью анализатора АИ-4096 с  $Ce(Li)$ -полупроводниковыми детекторами 6,3 и 38 см<sup>3</sup> энергетическим разрешением в обоих случаях 4 кэв для гамма-лучей  $^{60}Co$ .

Естественно, по слабой активности гамма-излучения изотопов тербия во многих случаях трудно было провести однозначную идентификацию принадлежности гамма-лучей к тому или другому изотопу. Поэтому по-лучение соответствующих изотопов тербия в ядерных реакциях  $^{139}La(0, xn)^{132-148}Tb$  при  $E_{160}^{max} = 141$  Мэв и  $^{141}Pr(0, xn)^{150-148}Tb$  при  $E_{120}^{max} = 81$  Мэв на ускорителе тяжелых ионов У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ позволило при сопоставлении результатов надежной идентификации гамма-лучей короткоживущих изотопов тербия. Бор преимущественного канала реакции для получения необходимого изотопа тербия осуществлялся изменением энергии падающих частиц  $^{16}O$  и  $^{12}C$  (для мишеней  $^{139}La$  и  $^{141}Pr$ , соответственно) с помощью фольги из алюминия.

Толщина мишеней из металлического празеодима составляла 2 мг/см<sup>2</sup>, а толщина мишеней из металлического лантана - (4-6) мг/см<sup>2</sup>. Время облучения в данных экспериментах составляло 1-5 минут в зависимости от изучаемого изотопа. Измерение спектров спустя 2-3 минуты после конца облучения осуществлялось с помощью анализатора АИ-4096 с  $Ce(Li)$ -детекторами с чувствительным объемом 38 и 10 см<sup>3</sup> и разрешением на гамма-лучах  $^{60}Co \approx 4,5$  и 4,0 кэв, соответственно.

$^{152}\text{Tb}$ . В ядерной реакции  $^{139}_{57}\text{La} (^{16}_8\text{O}, 3\text{n}) ^{152}_{65}\text{Tb}$  обнаружены гамма-лучи, интенсивность которых спадала с  $T_{1/2} = (3,9 \pm 0,2)$  мин. В таблице 1 сведены результаты анализа спектра гамма-лучей, наблюдаемых при распаде изомера тербия-152.

На основании анализа интенсивностей гамма-лучей в настоящих экспериментах, исследования возбужденных состояний  $^{152}\text{Gd}$  в реакции  $^{150}\text{Sm} (\alpha, 2\text{n}) ^{152}\text{Gd}$  /4/, сравнения с распадом изомерного состояния  $^{154}\text{Ho}$ , изученного в реакциях  $^{148}\text{Sm} (^{10}\text{B}, 4\text{n}) ^{154}\text{Ho}$  /5/ и  $^{148}\text{Sm} (^{11}\text{B}, 5\text{n}) ^{154}\text{Ho}$  /5/, и исследования возбужденных состояний  $^{154}\text{Dy}$  в реакции  $^{139}\text{La} (^{19}\text{F}, 4\text{n}) ^{154}\text{Dy}$  /5/ предлагается схема распада изомерного состояния  $^{152}\text{Tb}$  (рис. 1). Наблюдаемые интенсивные гамма-лучи с энергией 282,5 кэВ (табл. 1), по-видимому, следует рассматривать ответственными за распад изомера  $^{152}\text{Tb}$  в основное состояние  $^{152}\text{Tb}$ , т.к. при исследовании распада основного состояния  $^{152}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 17,4 \pm 0,2$  часа) /6/ первым возбужденным состоянием является уровень  $2^+$  с энергией 344,4 кэВ.

Наиболее вероятно приписать квантовые характеристики изомерному состоянию  $^{152}\text{Tb} - 5^+$ . Наблюдение уровня  $8^+$  с энергией 1745,6 кэВ при распаде изомерного состояния  $^{152}\text{Tb}$  следует объяснить, по-видимому, заселением с других возбужденных состояний  $^{152}\text{Gd}$ . На рис. 1 для сравнения приведена также схема распада  $^{154}\text{Ho}$  ( $T_{1/2} = 3,25$  мин), взятая из работы /5/. Как видно из рисунка и таблицы 1, часть переходов не размещена в схеме распада  $^{152*}\text{Tb} - ^{152}\text{Gd}$ . При расчёте значений  $\log ft$  принято, что изомерный переход с энергией 282,5 кэВ типа M4, а разность масс  $^{152*}\text{Tb} - ^{152}\text{Gd}$ , согласно работе /6/, равна  $\approx 4100$  кэВ.

$^{150}\text{Th}$ . В ядерных реакциях  $^{139}_{57}\text{La} (^{16}_8\text{O}, 5\text{n}) ^{150}_{90}\text{Th}$  и  $^{141}_{59}\text{Pr} (^{12}\text{C}, 3\text{n}) ^{150}_{90}\text{Th}$  наблюдались гамма-лучи, интенсивность которых спадала с периодом полураспада, равным  $(6,0 \pm 0,2)$  мин.).

xx/Интенсивность гамма-лучей с энергией 638,0 кэв принята за 1000 ед.  
 нпц.  
 xx/Интенсивность гамма-лучей с энергией 344,4 кэв принята за 1000 ед.

2184,0	140±50								
1306,0	120±50								
1130,0	240±100								
931,0	.. 25								
650,0	100±50								
586,0	190±60	1694,0	~ 15						
527,5	220±50	1278,0	~ 35						
519,0	160±50	8,3,0	450±50						
		650,0	870±30						
511,0	1540±200	638,0	1000						
471,0	450±70	566,0	230±20	1794,0	50±10				
442,0	~ 100		(1 <sup>β</sup> + = 330±30)	1394,0	300±50				
411,2	300±150	511,0	600±150	882,0	900±100				
386,0	170±50	496,0	275±30	734,0	1000				
352,0	75±25	455,0	90±25	752,0	60±20				
344,4	1000	438,0	420±40	631,0	900±100				
.. 5	3000±400	415,0	150±10		(1 <sup>β</sup> + = 200±35)				
277,5	200±100	343,0	250±15	511,0	500±150				
236,0	230±60	161,0	60±10	396,0	800±100				

1<sup>β</sup> КЭВ 1<sup>β</sup> (к) ОТНОС. Е<sub>γ</sub> КЭВ 1<sup>β</sup> (к) ОТНОС. Е<sub>γ</sub> КЭВ 1<sup>β</sup> (ккк) ОТНОС. 1<sup>β</sup> ТР 1<sup>β</sup> ТР 1<sup>β</sup> ТР

Энергия и относительные интенсивности гамма-лучей при расщеплении короткоживущих изотопов 152Тр, 150Тр

Таблица 1

Примечание: При расчёте относительных интенсивностей гамма-лучей изотопов берётся не учтены погрешности при определении коэффициента эффективности детектора гамма-лучей = 10%. Энергия гамма-лучей определены с использованием калибровочного источника <sup>228</sup>Pa. Точность определения энергии не хуже ± 1 кэв.

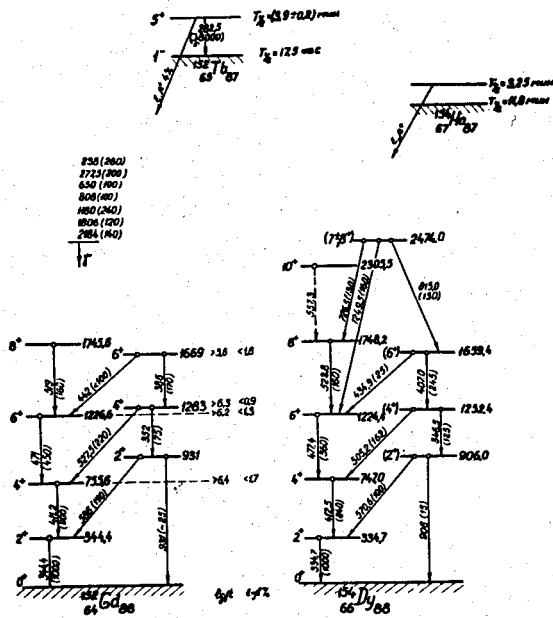


Рис. 1. Схема распада  $^{152m}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$  в сравнении с возбужденными уровнями  $^{154}\text{Dy}$  /5/.



В таблице 1 приведены энергии и относительные интенсивности гамма-лучей, наблюдаемых при распаде  $^{150}\text{Tb}$ . Наиболее интенсивные гамма-лучи с энергиями 438, 496, 566, 638, 650 и 826 кэВ наблюдаются также в спектре гамма-лучей изотопов тербия, получаемых в ядерных реакциях глубокого расщепления.

На рис. 2 представляется наиболее вероятный фрагмент схемы распада изомерного состояния  $^{150}\text{Tb}$ .  
 Уровень  $2^+$  с энергией 638 кэВ и уровень  $3^-$  с энергией 1134 кэВ  $^{150}\text{Gd}$  были введены ранее при исследовании распада основного состояния  $^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 3,5$  часа). Переход с энергией 566 кэВ наиболее вероятно разместит между уровнями с энергией 1700 кэВ ( $5^-$ ) и 1134 кэВ ( $3^-$ ), что, по-видимому, исключает введенный в работе /77/ уровень  $4^+$  с энергией 1204 кэВ.

$^{148}\text{Tb}$ . В ядерных реакциях  $^{139}\text{La}(^{16}\text{O}, n)^{148}\text{Tb}$  и  $^{141}\text{Pr}(^{12}\text{C}, 5n)^{148}\text{Tb}$  обнаружены гамма-лучи, интенсивность которых спадает с периодом полураспада  $T_{1/2} = (2,1 \pm 0,1)$  мин.

Относительные интенсивности гамма-лучей сведены в табл. 1. Фрагменты схем распада изомерного состояния  $^{148}\text{Tb}$  и основного состояния  $^{148}\text{Tb}$  показаны на рис. 3. Уровень  $2^+$  с энергией 784 кэВ введен в работу /8/, а наиболее вероятный уровень с энергией 631 кэВ в настоящей работе как при распаде изомерного состояния, так и основного состояния  $^{148}\text{Tb}$  позво-

ляет ввести уровень с энергией 1415 кэВ с вероятными значениями спина и четности  $4^+$ .

$^{149}\text{Tb}$ . В ядерных реакциях  $^{139}\text{La}(^{16}\text{O}, 6n)^{149}\text{Tb}$  и  $^{141}\text{Pr}(^{12}\text{C}, 4n)^{149}\text{Tb}$  наблюдались гамма-лучи с энергией 164,511 и 796 кэВ с интенсивностью в соотношении 150:500:1000, соответственно.

Интенсивность гамма-лучей спадает с периодом полураспада  $T_{1/2} = (4,5 \pm 0,2)$  мин.

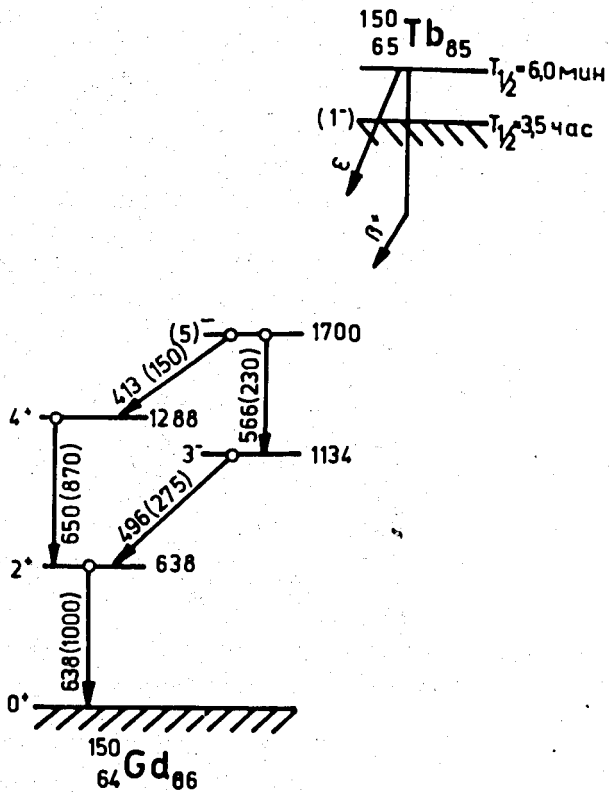
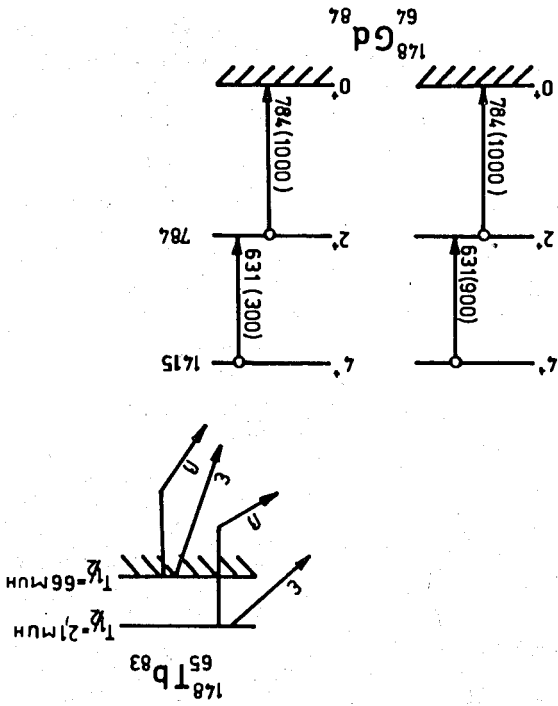


Рис. 2. Фрагмент схемы распада изомерного состояния <sup>150</sup>Tb.

Рис. 3. Фрагменты схем распада изомерного и основного состояния <sup>148</sup>Tl.



На рис. 4 представлена схема распада изомерного состояния  $^{149*}\text{Tb}$ . В  $9/10/$  при исследовании альфа-распада  $^{149}\text{Tb}$  изомерному состоянию  $^{149*}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 4,3$  мин) приписаны вероятные значения спина и четности  $11/2^-$ .

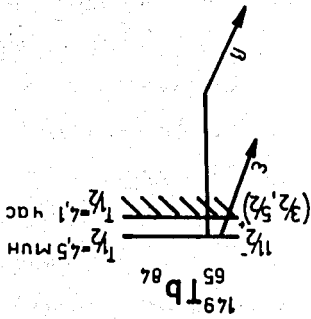
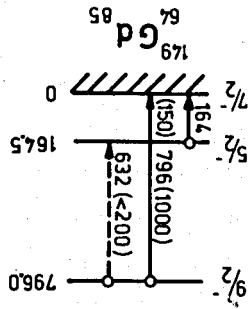
Гамма-лучи с энергией 796 кэв, наблюдавшиеся в настоящих исследованиях, вероятно, отвечают за разрядку состояния  $9/2^-$  с энергией 796 кэв в основное состояние  $7/2^-$   $^{149}\text{Gd}$ . Относительно слабые по интенсивности гамма-лучи с энергией 164 кэв, по-видимому, разряжают первый возбужденный уровень  $5/2^-$  в  $^{149}\text{Gd}$   $^{7/}$ . Если принять, что гамма-лучи с энергией 511 кэв возникают при аннигиляции позитронов  $^{149*}\text{Tb}$ , то из отношения  $K/\beta^+ \approx 3,5$  заселения уровня с энергией 796 кэв следует  $E_{\text{гр}}\beta^+ = 1700$  кэв, и тогда разность масс  $^{149*}\text{Tb} - ^{149}\text{Gd}$  будет  $\approx 3520$  кэв, что находится в удовлетворительном согласии с данными работы  $^{7/}$ .

Значение  $lg\text{ }f\text{ }T$ , равное  $\approx 4,2$ , не противоречит приписанию спина и четности  $9/2^-$  уровню с энергией 796 кэв.

При расчёте значения  $lg\text{ }f\text{ }T$  предполагалось, что распад  $^{149*}\text{Tb}$  происходит, в основном, в возбужденное состояние с энергией 796 кэв  $^{149}\text{Gd}$ . Не исключена разрядка уровня с энергией 796 кэв также другим переходом на уровень с энергией 164 кэв  $^{149}\text{Gd}$ . В нашем случае было трудно выделить этот переход из-за присутствия в спектре  $^{149}\text{Tb}$  гамма-лучей соседнего изотопа  $^{148}\text{Tb}$ .

Таким образом, наблюдение спектров гамма-лучей при распаде изомерных состояний нечетно-нечетных ядер тербия  $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$  и  $^{152}\text{Tb}$  позволило предложить фрагменты схем распада этих ядер. Как видно из таблицы 1, ряд наблюдаемых гамма-переходов не размещен в схемах распада  $^{152}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$  и  $^{148}\text{Tb}$ . Для решения этой задачи и анализа возбужденных состояний этих ядер необходимы другие методы экспериментальных исследований.

Рис. 4. Схема распада изомерного состояния <sup>149</sup>Tb.



Если рассматривать 65-й протон на оболочке  $d 5/2$ , а 83 (85, 87)-й нейтрон - на оболочке  $f 7/2$  <sup>/11/</sup>, то возможные значения спина основных состояний  $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$  и  $^{152}\text{Tb}$  будут  $6^-$ ,  $5^-$ ,  $4^-$ ,  $3^-$ ,  $2^-$  или  $1^-$ . Данные работ <sup>/6,7/</sup> указывают в пользу спина и четности основных состояний этих ядер  $1^-$ .

Если рассматривать 65-й протон на оболочке  $h 11/2$ , а 83(85,87)-й нейтроны - на оболочке  $f 7/2$  <sup>/11/</sup>, то возможные спины изомерных состояний  $^{148}\text{Tb}$ ,  $^{150}\text{Tb}$  и  $^{152}\text{Tb}$  могут быть  $9^+$ ,  $8^+$ ... $2^+$ . Как выше указано, интенсивный гамма-переход с энергией 282,5 кэВ; вероятно, связан с разрядкой изомерного состояния в ядре  $^{152}\text{Tb}$ . Сравнение экспериментального значения времени жизни изомерного состояния  $^{152}\text{Tb}$   $T_{1/2}^{\text{эксп.}} = 3,9$  мин с теоретическими оценками по Мошковскому <sup>/12/</sup> для  $E_{\gamma} = 282,5$  кэВ показывает, что значение времени жизни изомерного состояния лучше всего согласуется с мультипольностью гамма-перехода 282,5 кэВ -  $M4$  ( $F_{\text{уск } \nu 3} = 1,4 \cdot 10^{-5}$  и  $F_{\text{уск } M4} = 26$ ). Таким образом, можно предположить, что изомерное состояние  $^{152}\text{Tb}$  имеет спин и четность  $5^+$ . Наблюдаемое отношение значений энергий переходов  $E_{4^+ \rightarrow 2^+} / E_{2^+ \rightarrow 0^+}$  увеличивается от  $\approx 0,8$  для  $^{148}\text{Gd}$  ( $\approx 1,0$  для  $^{150}\text{Gd}$ ) до  $\approx 1,2$  для  $^{152}\text{Gd}$ . Это, по-видимому, связано с тем, что первые возбужденные состояния  $2^+$  и  $4^+$  сферических ядер  $^{148}\text{Gd}$  и  $^{150}\text{Gd}$  имеют фоновую природу, а по мере удаления от заполненной нейтронной оболочки ( $N = 82$ ) и приближения к области деформированных ядер с  $N > 80$  у ядра  $^{152}\text{Gd}$  начинают проявляться свойства деформированных ядер. Не исключено, что наблюдение относительно малой вероятности бета-распада короткоживущего изомера  $5^{+152*}\text{Tb}$  (рис. 5), по-видимому, связано с  $K$ -запретом при распаде на уровни квазиротационных полос с  $K = 0$   $^{152}\text{Gd}$ .

В заключение авторы приносят большую благодарность сотрудникам группы доктора физико-математических наук Ю. Оганесяна и сотрудникам

группы кандидата физико-математических наук С. Медведя за предоставление измерительной аппаратуры при проведении экспериментов. Авторы благодарны доктору физико-математических наук К. Я. Тромову и доктору физико-математических наук Л. К. Пекову за интерес к работе и ценные замечания.

## Л и т е р а т у р а

1. Р. Арья, С. Кадыкова, А. Калинин, В. Моисеева, Г. Музюль, М. Омеляненко, Ю. Прокофьев, Б. Семенов, А. Синаев, Л. Чистов, Х. Штрусний, Г. Эльснер. Препринт ОИЯИ Р6-3773, Дубна 1968.
2. Р. Арья, В. А. Быстров, Г. Музюль, Х. Штрусний. Препринт ОИЯИ Р12-3887, Дубна 1968.
3. Г.-Ю. Батер, В. А. Халкин, Х. Гроссе-Рюкен, Г. Пфрейлер. Препринт ОИЯИ Р12-3887, Дубна 1968.
4. Г. Хареманн, М. Олесен. Доклад на XVII совещании по ядерной спектроскопии, Харьков, 1967 г.
5. D. Wood, M. Neiman. Nucl. Phys., A115, 529 (1968).
6. И. Адам, П. Галан, К. Я. Тромов, Ж. Т. Желев, В. В. Кузнецов, М. Я. Кузнецова, Н. А. Лебедев, О. Б. Нильсен, Т. Пазманова, Я. Урбанец и М. Фингер. Изв. АН СССР (сер. физ.) 34, №4, 813, 1970 г.
7. К. Вильский, К. Я. Тромов, Ж. Т. Желев, В. В. Кузнецов, Г. Музюль, О. Б. Нильсен, О. Скинбратт. Изв. АН СССР, 32, №2, 187, 1968.
8. Б. С. Дженелов, Л. К. Пеков, В. О. Сергеев. кн. "Схемы распада радиоактивных ядер,  $A > 100$ ". Изд. АН СССР, Москва-Ленинград, 1968 г.
9. R. D. Macfarlane. Phys. Rev., 126, 274 (1962).
10. R. D. Macfarlane, D. W. Seeßmiller. Nucl. Phys., 53, 449 (1964).

11. М. Гепперт-Майер, И.Г.Д. Иенсен. Изд.иностр. литер. Москва, 1958 г.
12. кн. Гамма-лучи. под ред. Л.А. Слива Изд. АН СССР, М.-Л., 1961 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

15 марта 1971 года.