

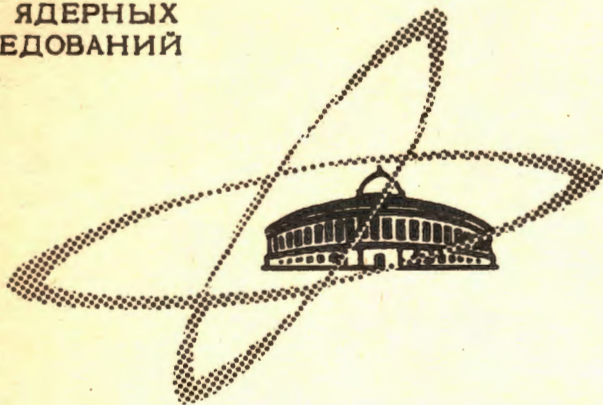
B-465

Nucl. Phys., 1967, v. A99, NY,
p. 585-604

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2762



АБСОРТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

К. Вильский , К.Я. Громов, М. Йоргенсен ,
В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, О.Б. Нильсен ,
О. Скилбрайт , Я. Урбанец, М. Фингер

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ¹⁵²Ть

1966

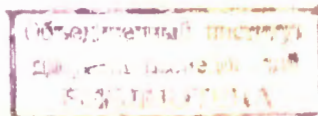
К. Вильский^{x/}, К.Я. Громов, М. Йоргенсен^{x/},
В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, О.Б. Нильсен^{x/},
О. Сжилбрайт^{x/}, Я. Урбанец, М. Фийгер

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ¹⁵²Tb

Направлено в Изв. АН СССР,
Nucl.Phys.

4335/2 м

^{x/} Институт им. Нильса Бора.



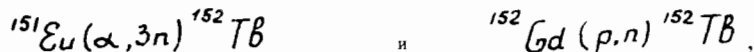
В настоящей работе исследовались спектры $e\text{-}\gamma$, $\beta^+\text{-}\gamma$ -совпадений и спектр конверсионных электронов ($E_0 < 1000$ кэв) ^{152}Tb на тороидальном шестизазорном β -спектрометре, исследовался спектр конверсионных электронов ($E_0 > 1000$ кэв) на магнитном β -спектрометре с двукратной фокусировкой на угол $\pi/2$; изучался спектр γ -лучей с помощью двух германиевых полупроводниковых детекторов: плоскопараллельного Ge(Li) -детектора с размерами $0,7 \text{ см}^2 \times 0,35 \text{ см}$ и коаксиального Ge(Li) -детектора с чувствительным объемом $\sim 5 \text{ см}^3$ и внешними размерами $3,14 \text{ см}^2 \times 1,8 \text{ см}$.

На основании полученных результатов предложена схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$. Схема распада включает известные ранее уровни с энергиями до 1042,5 кэв, а также уровни с энергиями 2247,6 и 2867,7 кэв. Кроме того, введен дополнительно ряд новых уровней, в том числе уровни 0^+ с энергиями 1484,0 и 2720,7 кэв.

Относительные доли позитронного распада ^{152}Tb на уровни с энергией 615,6 кэв (0^+), 344,4 (2^+) и в основное состояние (0^+) ^{152}Gd оцениваются как 0,2; 0,3; 1,0, соответственно.

Основному состоянию ^{152}Tb приписаны квантовые характеристики 1^- . Уровням с энергиями 755,6; 1109,8; 1123,8; 1318,6; 1606,1; 1643,9; 1862,3 и 1042,5 кэв приписаны квантовые характеристики 4^+ , 2^+ , 3^- , 2^+ , 2^+ , 1^- , 2^+ и 2^+ соответственно.

В 1959 г. Тот, Фалер и Гасмусен^{/1/} впервые идентифицировали изотоп ^{152}Tb ($T_{1/2} = 18,5$ час), полученный в реакциях



наблюдая γ -переход с энергией 344,1 кэв, возникающий также в ^{152}Gd при распаде ^{152}Eu . В дальнейшем исследование излучения ^{152}Tb проводилось авторами многих работ (см. ^{/2/}). В работе ^{/3/} при изучении спектров конверсионных электронов, γ -лучей, $\beta\text{-}\gamma$ - и $e\text{-}\gamma$ -совпадений использовался источник ^{152}Tb , приготовленный с помощью масс-сепаратора. В большинстве последующих работ (см. ^{/2/}) в качестве измеряемого препарата при исследовании излучения ^{152}Tb использовалась смесь изотопов тербия, получающихся в результате реакций расщепления талала под действием высо-

коэнергичных протонов. Присутствие в измеряемом препарате наряду с ^{152}Tb изотопов ^{151}Tb и ^{154}Tb , имеющих периоды полураспада, близкие к периоду полураспада ^{152}Tb , значительно затрудняло анализ результатов измерения.

Исследования спектра γ -излучения ^{152}Tb до сих пор проводились на сцинтилляционных γ -спектрометрах, что также затрудняло проведение анализа экспериментальных данных.

Наиболее полные исследования излучения ^{152}Tb проведены в работе ^{1/2/}, в которой изучались спектры γ -лучей и γ - γ -совпадений на сцинтилляционном γ -спектрометре, а также исследовались спектры позитронов и конверсионных электронов. Однако экспериментальных данных до настоящего времени недостаточно для полного представления о схеме распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$

Экспериментальные данные об уровнях ядра ^{152}Gd представляют интерес с точки зрения проверки существующих теоретических представлений относительно природы возбужденных состояний четно-четных ядер.

В настоящей работе проводилось исследование спектров γ -лучей с помощью германевых полупроводниковых детекторов (Институт имени Нильса Бора и ОИЯИ), β - γ - и e - γ -совпадений с помощью тороидального шестизазорного β -спектрометра ^{14/} и сцинтилляционного γ -спектрометра (Институт имени Нильса Бора) и спектра конверсионных электронов с помощью тороидального шестизазорного β -спектрометра и магнитного β -спектрометра с двукратной фокусировкой на угол $\sqrt{1/2}$ ^{15/} (Институт имени Нильса Бора и ОИЯИ).

Экспериментальная часть

а) Приготовление источников

Изотопы тербия получались в результате расщепления ядер тантала под действием протонов с энергией 860 Мэв на синхротроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Мишени тантала облучались в течение 2 ± 10 часов. Из облученных мишеней химическим путем выделялась группа редкоземельных элементов. Тербиевая фракция, содержащая в себе ^{152}Tb выделялась из смеси редкоземельных элементов хроматографическим методом ^{16/}.

При исследовании излучения ^{152}Tb в данной работе было использовано три типа препаратов:

Препарат I - тербиевая фракция, т.е. смесь всех изотопов тербия, выделенная из облученной мишени тантала.

Препарат II - препарат тербия, выделенный как дочерний продукт из диспрозие-

вой фракции через 1 ÷ 6 часов после хроматографического выделения этой фракции из группы редкоземельных элементов. Препарат содержал в основном ^{152}Tb а также ^{153}Tb и ^{155}Tb . Эти изотопы легко идентифицировать по периодам полураспада; кроме того, энергия γ -излучения ^{153}Tb и ^{155}Tb не превышает 1000 кэв^{/7/}, что также значительно упрощало исследование спектров γ -лучей и конверсионных электронов ^{152}Tb .

Препарат III -изотоп ^{152}Tb , выделенный из тербиевой фракции с помощью масс-сепаратора^{/8/} в Институте ямца Нильса Бора. Разделение изотопов тербия на масс-сепараторе проводилось через ~ 15 часов после хроматографического разделения редкоземельных элементов в Объединенном институте ядерных исследований.

б) Исследование спектра конверсионных электронов

Спектр конверсионных электронов в энергетической области ниже 1000 кэв изучался с помощью тороидального шестизазорного β -спектрометра^{/4/} с использованием препарата III. Спектр конверсионных электронов в области энергий выше 1000 кэв исследовался на магнитном β -спектрометре^{/5/} с двукратной фокусировкой на угол $\sqrt{2}$ с использованием препаратов I и II.

Регистрация электронов на тороидальном шестизазорном β -спектрометре осуществлялась двумя независимыми сцинтилляционными счетчиками, позволяющими измерять одновременно два спектра конверсионных электронов; причем один из них измерялся с "высоким" разрешением (разрешение ~ 0,5%, светосила ~ 1%), а другой - с высокой светосилой (разрешение ~ 1%, светосила ~ 8%). Спектр, полученный при разрешении ~ 0,5%, представлен на рис. 1; относительные интенсивности K-линий конверсионных электронов приведены в таблице 1. Спектр, измеряемый с разрешением ~ 1% был полезен при постановке опытов по исследованию $e-\gamma$ совпадений.

Магнитный β -спектрометр с двукратной фокусировкой на угол $\sqrt{2}$ имеет разрешение ~ 0,2% и светосилу ~ 0,1%. Практическое отсутствие фона этого прибора позволяло исследовать линии конверсионных электронов очень малой интенсивности.

Для определения энергии K-конверсионных электронов, соответствующих переходам с энергией 615,6; 974,3; 1047,9; 2589,0 и 2720,7 кэв в ядре ^{152}Gd проведены измерения на смеси препаратов тербия и $\text{Th}(B+C+C'')$; энергии конверсионных электронов $\text{Th}(B+C+C'')$ известны с высокой точностью^{/9,10/} и использовались в качестве калибровочных значений. Энергии выше указанных конверсионных электронов ^{152}Tb определены с точностью 0,07%, точность определения энергий других конверсионных электронов ^{152}Tb не хуже 0,1%.

Энергия переходов в ядре ^{152}Gd и относительные интенсивности K-линий соответствующих конверсионных электронов приведены в таблице 1. В этой таблице результа-

ты настоящей работы сравниваются с результатами работы ^{12/}. Из таблицы видно, что нами обнаружено более 20 новых переходов, сопровождающих распад ^{152Tb} и уточнены энергии и относительные интенсивности K -линий конверсионных электронов для ряда ранее известных переходов.

На тороидальном шестизазорном β -спектрометре был измерен период полураспада ^{152Tb} по спаду интенсивности K -линии конверсионных электронов перехода с энергией 344,4 кэВ. Он равен $17,5 \pm 0,1$ часа.

в) Исследование γ -спектра

Гамма-излучение ^{152Tb} исследовалось с помощью двух германиевых полупроводниковых детекторов: плоскопараллельного $Ge(Li)$ -детектора с размерами $0,7 \text{ см}^2 \times 0,35 \text{ см}$ и 1024-канального анализатора (исследовательский центр в Рисо при комиссии по атомной энергии в Дании) и коаксиального $Ge(Li)$ -детектора с чувствительным объемом $\sim 3 \text{ см}^3$ с внешними размерами $3,14 \text{ см}^2 \times 1,8 \text{ см}$ и 2048-канального анализатора (Объединенный институт ядерных исследований).

При измерениях гамма-спектра ^{152Tb} на коаксиальном $Ge(Li)$ -детекторе использовался фильтр ($Pb - 4 \text{ мм}$, $Cu - 1 \text{ мм}$, $Cd - 0,7 \text{ мм}$, $Al - 1 \text{ мм}$) для поглощения рассеянного излучения и интенсивного γ -излучения ^{152Tb} в области энергий до 100 кэВ .

Энергия γ -линии с энергией 874,3 кэВ ^{152Tb} составляла $\sim 7 \text{ кэВ}$ и $\sim 10 \text{ кэВ}$ на плоскопараллельного и коаксиального детектора соответственно. Полученные γ -спектры приведены на рис. 2 и 3. Энергия и относительные интенсивности γ -лучей приведены в таблице 2. Указанные в таблице ошибки определения интенсивности γ -лучей не включают ошибок, обусловленных возможной неточностью эффективности детектирования γ -лучей от энергии.

г) Исследование спектров $e^- \gamma$ и $\beta^+ \gamma$ -совпадений

Спектры $e^- \gamma$ и $\beta^+ \gamma$ -совпадений исследовались на тороидальном шестизазорном β -спектрометре (разрешение $\sim 1\%$, светосила $\sim 9\%$) и γ -спектрометре с 512-канальным амплитудным анализатором с кристаллом $NaJ(Tl)$ ($7,6 \text{ см} \times 7,6 \text{ см}$), являющемся разрешенным на линии цезия - 137 ($E_\gamma = 661 \text{ кэВ}$) $\sim 8\%$.

Возможность регистрации электронов, отличающихся по энергии на $1,8\%$, на тороидальном β -спектрометре двумя независимыми спиральнонаправленными счетчиками позволила измерять два спектра $e^- \gamma$ -совпадений одновременно: спектр совпадений электронов на максимуме конверсионной линии с γ -лучами ^{152Tb} и спектр фоновых совпадений электронов со линией конверсионной линии ($E_e > E_\mu$) с γ -лучами ^{152Tb}.

Измерен также спектр совпадений позитронов в энергетической области 1580 кэВ с γ -лучами ^{152Tb}.

Ческолько основных спектров $e\text{-}\gamma$ - совпадений и спектр $\beta^+\text{-}\gamma$ - совпадений приведены на рис. 4 и 5.

Результаты, полученные из анализа спектров $e\text{-}\gamma$ - и $\beta^+\text{-}\gamma$ - совпадений, использовались при построении схемы распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ и в некоторых случаях для расчета коэффициентов внутренней конверсии переходов.

д) Схема распада

Анализ спектров гамма-лучей и конверсионных электронов позволил рассчитать экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии и определять мультипольности для большинства переходов в ядре ^{152}Gd . При определении экспериментальных коэффициентов внутренней конверсии принималось, что переход с энергией 344,4 кэВ является переходом типа E2. Рассчитанные и теоретические значения ^{/11/} коэффициентов внутренней конверсии и предполагаемые мультипольности переходов приведены в таблице 3.

Применение германиевых полупроводниковых детекторов для измерения γ -спектра ^{152}Tb дало возможность более надежно определить мультипольности ряда переходов в ядре ^{152}Gd , возникающих при распаде ^{152}Tb .

Анализ спектров $e\text{-}\gamma$ и $\beta^+\text{-}\gamma$ - совпадений, более точное экспериментальное определение энергий и коэффициентов внутренней конверсии переходов в ядре ^{152}Gd , возникающих при распаде ^{152}Tb позволили нам ввести в схему распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ ряд новых уровней и более надежно приписать квантовые характеристики некоторым ранее известным уровням. Предлагаемая схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ показана на рис. 6.

Уровни, переходы с которых отмечены точками, введены на основе анализа спектров $e\text{-}\gamma$ и $\beta^+\text{-}\gamma$ - совпадений. Схема распада включает известные ранее уровни с энергиями до 1042 кэВ, а также уровни с энергиями 2247,6 и 2687,7 кэВ ^{/12/}.

Рассмотрим более подробно отдельные уровни ^{152}Gd .

Основное состояние четно-четного ядра ^{152}Gd имеет квантовые характеристики 0^+ . Из анализа спектров $\beta^+\text{-}\gamma$ -совпадений и результатов работы ^{/12/} следует, что относительные доли позитронного распада ^{152}Tb на уровни с энергиями 615,6 кэВ (0^+), 344,4 кэВ (2^+) и в основное состояние (0^+) ^{152}Gd находятся в отношении 0,2: 0,3: 1,0 соответственно.

На основе анализа $\beta^+\text{-}\gamma$ -совпадений (рис. 5) основному состоянию ^{152}Tb следует приписать квантовые характеристики 1^- , возбужденному состоянию ^{152}Gd с энергией 755,6 кэВ - 4^+ , что подтверждается также отсутствием прямого перехода с этого уровня в основное состояние ^{152}Gd .

Уровням с энергиями 1109,8; 1123,8; 1318,6; 1606,1; 1649,9; 1882,3 и 1042,5 кэВ

на основе анализа спектров $e-\gamma$ - совпадений и экспериментальных значений коэффициентов внутренней конверсии переходов приписаны квантовые характеристики 2^+ , 3^- , 2^+ , 2^+ , 1^- , 2^+ , 2^+ соответственно.

На основе анализа спектров γ -лучей и конверсионных электронов можно предположить, что переходы с энергиями 1238,7; 1484 и 2720,7 кэВ являются монополярными переходами.

Уровень 2720,7 кэВ (0^+) введен на основе совпадений γ -лучей с энергией 2376,2 кэВ с переходом 344,4 кэВ и наблюдаемого перехода с энергией 2720,7 кэВ в спектре конверсионных электронов. Непосредственное наблюдение в спектре конверсионных электронов переходов с энергиями 1238,7 и 1484,0 кэВ и сумма их энергий (1484,0 + 1238,7) кэВ = 2720,7 кэВ позволили ввести уровень 1484,0 кэВ (0^+).

На основе баланса интенсивностей и спектра $e-\gamma$ -совпадений с конверсионными электронами перехода 432,5 кэВ переход с энергией 623,1 кэВ следует разместить между уровнями 1042,5 и 1318,8 кэВ, предположив при этом существование перехода с энергией 270,7 кэВ между уровнями 1318,8 и 1047,9 кэВ. Интенсивность перехода 270,7 кэВ оценивается ~ 10 относительно $J\gamma$ (344,4 кэВ) = 1000.

Уровни 344,4 кэВ (2^+), 615,6 кэВ (0^+), 931,2 кэВ (2^+) и 1047,9 кэВ (0^+) надежно обоснованы в работах ^{1-3/} и хорошо подтверждаются результатами настоящей работы.

Из баланса интенсивностей предложенной схемы распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ рассчитаны значения $\beta\gamma\epsilon$, которые приведены на рис. 6.

Обсуждение результатов

Для четно-четного ядра ^{152}Gd находящегося в переходной области от сферических к деформированным ядрам, интересно было получить сведения о свойствах возбужденных уровней.

Первый возбужденный уровень 344,4 кэВ (2^+) рассматривается как однофонное квадрупольное вибрационное состояние, а уровни 615,6 кэВ (0^+), 775,6 кэВ (4^+) рассматриваются как члены триплета двухфононного вибрационного возбуждения ^{/3,12,13/}.

Анализ спектров $e-\gamma$ -совпадений с конверсионными электронами К-344 кэВ и К-615,6 кэВ позволил ввести уровень с энергией 1318,8 кэВ (2^+), который разряжается переходами 1317,4; 974,3; 703,9 кэВ с соотношением интенсивностей как 1:3:2 соответственно. При исследовании распада ^{152}Eu ^{/12/} введен уровень в ядре ^{152}Gd с энергией 1315,0 кэВ (1^-), разряжающийся переходами типа Е1 с энергией 1315,0; 970,3 и 700,2 кэВ, интенсивности которых относятся как 1:0,4:0,04 соответственно. Из энергетических сооб-

ражений и заключения о мультипольностях переходов 1317,4; 974,3; 703,9 кэв и их относительных интенсивностей следует сделать вывод, что уровень 1318,6 кэв (2^+), возбуждающийся при распаде ^{152}Tb и уровень 1315,0 кэв (1^-), возбуждающийся при распаде ^{152}Eu являются разными уровнями.

Целесообразно сравнить ядра ^{152}Gd и ^{150}Sm , имеющие одинаковое число нейтронов ($N = 88$) и подобное расположение нижних возбужденных уровней. Сравнение уровней ^{152}Gd и ^{150}Sm приведено на рис. 7. Как видно из рисунка, первые возбужденные состояния этих ядер имеют близкие энергии и квантовые характеристики 2^+ . Уровню 615,6 кэв (0^+) в ^{152}Gd соответствует уровень 740 кэв (0^+) в ^{150}Sm , уровню 755,6 кэв (4^+) в ^{152}Gd - 773 кэв (4^+) в ^{150}Sm а уровню 931,1 кэв (2^+) в ^{152}Gd - 1047 кэв (2^+) в ^{150}Sm . Наблюдается также подобное соответствие между уровнями 1047,9 кэв (0^+); 1109,8 кэв (2^+); 1282,7 кэв (4^+) и 1123,8 кэв (3^-) в ядре ^{152}Gd и уровнями 1256 кэв (0^+); 1187 кэв (2^+); 1451 кэв (4^+) и 1071 кэв (3^-) в ядре ^{150}Sm соответственно.

Из сопоставления схем уровней ^{152}Gd и ^{150}Sm уровню с энергией 1282,7 кэв в ядре ^{152}Gd по-видимому, следует приписать квантовые характеристики 4^+ .

В таблице 4 приведены отношения приведенных вероятностей переходов с аналогичных уровней в ^{152}Gd и ^{150}Sm по данным настоящей работы и работ ^{3,14-18/}. Приведенные вероятности для монополярных переходов считались по формуле $B(E0) = e^2 R^4 \rho^2$, где e - заряд электрона, R - радиус ядра ($R = 1,2 \cdot 10^{-13} A^{1/2}$), ρ - ядерный "силовой параметр" ^{17/}. Из сопоставления отношений приведенных вероятностей для аналогичных уровней ^{152}Gd и ^{150}Sm видно, что эти уровни обладают похожими свойствами. Однако обращает на себя внимание то, что нижние уровни ^{152}Gd расположены в основном ниже, чем соответствующие уровни ^{150}Sm . Это может быть связано с тем, что ядро ^{152}Gd находится ближе к области деформированных ядер по сравнению с ядром ^{150}Sm .

В заключение один из авторов, В.В. Кузнецов, приносит искреннюю благодарность профессору Оге Бору за гостеприимство и предоставленную возможность проведения экспериментов в Институте имени Нильса Бора. Авторы выражают также благодарность коллективу радиохимической группы Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ за работы по приготовлению препаратов тербия; Ж.Т. Желеву и В.Г. Калининкову за ценные замечания и обсуждение результатов; П. Галану, И. Адаму, В. Быстрицкому и А. Липтак за участие в измерениях и помощь при обработке результатов.

Л и т е р а т у р а

1. K.S.Toth, K.T.Faler, J.O.Rasmussen. Phys.Rev., 115, 158 (1959).
2. К.Я. Громов, Д.А. Егчев, Ж.Т. Желев, И. Звольский, В.Г. Калинин, В.В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музюль, Хая Шу-жунь. Ядерная физика, 1, 582 (1965).
3. K.S.Toth, O.B.Nielsen, O.Skilbreid. Nucl.Phys., 19, 389 (1960).
4. O.B.Nielsen, O.Kofoed-Hansen. Mat.Fys.Medd.Dan.Vid.Selsk. 29, No 6 (1955)..
5. J.Adam, V.G.Chumin, Yu.N.Denisov, M.Finger, K.Ya.Gromov, M.Ya.Kuznetsova, Lu Si-ting. Preprint, E-2494, Dubna, 1965.
6. Б.К. Преображенский, А.В. Калямин, О.М. Лилова. ЖЭТФ, 2, 1164 (1957).
7. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд. АН СССР, М-Л, 1963.
8. K.O.Nielsen, O.Skilbreid. Nucl. Instr., 2, 15(1958).
9. R.L. Craham, G.Murray, J.S.Geiger. Can.J.Phys., 43, 171 (1965).
10. T.A. Jungerman, M.E.Gardner, C.G.Patten, N.F.Peek. Nucl.Instr. and Meth. 15, 1 (1962).
11. Гамма-лучи. Под редакцией Л.А. Слива. Изд. АН СССР, М-Л, 1961.
12. I.Marklund, O.Nathan, O.B. Nielsen. Nucl.Phys. 15, 199 (1960).
13. K.Alder, A.Bohr, T.Huuns, V.Mottelson, A. Winther. Rev.Mod.Phys., 28, 432 (1956).
14. Л.В. Грошев, А.П. Демидов, В.А. Иванов, В.Н. Луценко, В.И. Пелехов. Изв. АН СССР, сер. физ., 27, 216, 1963.
15. B.Harnatz, T.H.Handley, J.M.Mihelich. Phys.Rev., 123, 1758 (1961).
16. M.Guttman, E.G.Funk, T.M.Mihelich. Nucl.Phys., 64, 401 (1965).
17. E.L.Church, J.Weneser. Phys.Rev., 103, 1035 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 мая 1966 г.

Т а б л и ц а I

Энергии переходов и относительные интенсивности К-линий
конверсионных электронов ^{152}Tb

№ пп	β -спектрометр 1 ^{а)}		β -спектрометр 2 ^{б)}		К.Я.Громов и др. /2/	
	Е пере- хода, кэВ	$\frac{I_x}{I_{K615,6}} \times 10^3$	Е пере- хода, кэВ	$\frac{I_x}{I_{K615,6}} \times 10^3$ в)	Е пере- хода, кэВ	$\frac{I_x}{I_{K615,6}} \times 10^3$
1	2	3	4	5	6	7
1.	117,3	36,6±10,0			-	-
2.	271,2	600 ± 60			271,2	480±50
3.	315	~45,0			-	-
4.	344,4	2040±80			344,4	1860±100
5.	351,5	7,0			351,5	7,5±1,5
6.	368	4,0			-	-
7.	411,2	67,2±4,3			411,2	84±6
8.	432,5	438±4			432,5	380±40
9.	496,7	10,3±0,5			496,7	12,0±2,6
10.	527,1	19,8±1,0			527,1	17,0±1,6
11.	543,5	6,1±1,0			-	-
12.	557	~1,2			-	-
13.	586,7	168±8			586,7	175±15
14.	615,6	1000			615,6	1000
15.	623,1	-			623,1	9,0±0,9
16.	675,6	3,3			675,6	2,9±0,6
17.	679,2	-			679,2	1,5±0,5
18.	703,9	12,5±0,2			703,9	10,5±0,9
19.	752,9	-			752,9	2,3±0,7
20.	765,6	12,6±1,0			765,6	18,0±2,5

1	2	3	4	5	6	7
21.	779,4	7,9±I,0			779,4	9,0±I,0
22.	928,9	-			928,9	1,2±0,5
23.	93I,2	-			93I,2	5,3±0,8
24.	974,6	I4,4±2,0	974,3	I2,90±I,30	974,6	I3,0±I,2
25.	99I,2	~I,3	990,7	I,26±0,I3	99I,2	2,5±0,6
26.			I047,9 ^x)		I048,2	I8,0±I,8
27.			II09,8	5,90±0,60	III0,3	5,3±0,6
28.			II38,0	2,80 ±0,30	II38,3	3,4±0,5
29.			II86,3	0,23±0,04	II87,0	~ 0,3
30.			-	-	I206	~ 0,4
31.			I236,7	0,35±0,I0	-	-
32.			I26I,7	I,3I±0,I3	I263	2,2±0,3
33.			I299,5	I,I6±0,I0	I300	I,2±0,3
34.			-	-	I303	0,9±0,3
35.			I3I7,4 ^x)	-	I3I9	I,6±0,3
36.			I326,I	I,08±0,06	I328	I,3±0,3
37.			I348,7 ^x)	-	I348	0,8±0,2
38.			I352,7 ^x)	-	I352	0,6±0,2
39.			I36I ^x)	-	I36I	0,3±0,I5
40.			I4II,7	0,52±0,09	I4I2	0,7±0,2
4I.			I447,2	0,2I±0,06	-	-
42.			I484,I	0,76±0,04	-	-
43.			I496,0	0,50±0,0I	-	-
44.			I5I8,4	0,82±0,09	I5I9	I,0±0,2
45.			I532,4	0,I9±0,04	-	-
46.			I560,2	0,74±0,II	-	-
47.			I585,8	I,24±0,I2	I588	0,5±0,2

I	2	3	4	5	6	7
48.			1596,8	$1,40 \pm 0,14$	1598	$0,6 \pm 0,3$
49.			1670,3	$0,56 \pm 0,07$	1667	$\sim 1,0$
50.			1757,3	$0,41 \pm 0,05$	-	-
51.			1790,3	$0,24 \pm 0,03$	1791	$0,6 \pm 0,3$
52.			1862,3	$0,53 \pm 0,06$	-	-
53.			1903,2 ^{*)}	-	1905	2,2
54.			1921,6 ^{*)}	-	-	-
55.			1942,5 ^{*)}	-	1941	1,2
56.			2253,3 ^{*)}	-	-	-
57.			2258,2 ^{*)}	-	-	-
58.			2265,4 ^{*)}	-	-	-
59.			2366,3	$0,47 \pm 0,05$	2371	1,1
60.			2376,2	$0,72 \pm 0,07$		
61.			2406,2	$0,52 \pm 0,05$	2403	$\sim 0,8$
62.			2521,7	$0,12 \pm 0,02$	2526	$< 0,3$
63.			2536,7	$0,21 \pm 0,02$	-	-
64.			2589,0	$0,20 \pm 0,01$	2582	$< 0,3$
65.			2620,1	$0,14 \pm 0,02$	-	-
66.			2667,7	$0,09 \pm 0,02$	2667	$< 0,2$
67.			2698,8	$0,10 \pm 0,01$	2707	$< 0,4$
68.			2710,7	$0,10 \pm 0,01$		
69.			2720,7	$0,13 \pm 0,01$	-	-
70.			2796,7	$0,030 \pm 0,003$	2803	$< 0,1$

*) Определены только значения энергий конверсионных электронов.

а) Торондальный шестизазорный β - спектрометр.

б) Магнитный β - спектрометр с двухкратной фокусировкой на угол $\pi/2$.

в) Интенсивности определены как $\frac{J_x}{J_{K1047,9}} \times \frac{J_{K1047,9}}{J_{K615,6}} \cdot 10^3 = \frac{J_x}{J_{K1047,9}} \times 18$.

Т а б л и ц а 2

Относительные интенсивности γ -лучей ^{152}Tl

№ пп	Ge(Li) -детектор (0,7 см ² x 0,35 см)		Коаксиальный Ge(Li) -детектор	
	E_γ , кэВ	I_γ	E_γ , кэВ	I_γ *
I	2	3	4	5
1.	117	1,0 ± 0,5		
2.	271	168,5±6,5		
3.	315	18,3±3,6		
4.	344	1000		
5.	432	< 2		
6.	411	54,5±3,0		
7.	497	6,7 ±1,4		
8.	511	203,8±18,5		
9.	527	8,5±5,7		
10.	543	5,2±2,7		
11.	587	132,5±14,6		
12.	615	< 3		
13.	623	20,6±0,6		
14.	675	10,2±2,0	676	6,8±1,5
15.	704	42,1±8,2	704	20,2±6,0
16.	753	6,6±1,4		
17.	766	56,0±10,0	766	28,7±12
18.	779	67,2±7,4	780	58,7±12,0
19.	930	27,4±5,2	930	14,8±3,0
20.	975	60,7±7,2	975	60,7
21.	991	8,9±1,7	991	35,5±10,0
22.	1048	< 8	1048	< 4
23.	1110	34,2±8,0	1110	36,6±7,0
24.	1138	8,2±1,9	1138	9,0±1,8
25.	1188	7,4±2,5	1188	3,6±0,7
26.	1206	3,4±1,7	1206	2,7±1,0
27.			1236,7	< 1,0
28.	1263	9,1±1,3	1263	11,4±2,3
29.	1300	25,1±3,7	1300	25,0±2,5

1	2	3	4	5
30.	I3I9	18,9±2,3	I3I9	16,2±3,2
31.	I328	11,0±2,2	I327	15,1±3,0
32.	I350	17,2±1,7	I350	22,2±4,5
33.	I36I	7,7±1,5	I36I	4,5±0,9
34.	I4I2	10,5±3,0	I4I2	9,2±1,8
35.	I447	4,0±1,0	I447	5,0±1,5
36.			I484	< 2,0
37.			I496	5,5±1,1
38.	I5I9	19,3±2,7	I5I9	16,7±2,0
39.	I565	18,4±3,7	I567	12,8±2,5
40.	I588	9,1±0,9	I586	16,4±3,2
41.	I598	18,3±2,5	I598	17,9±2,0
42.			I644	6,1±3,0
43.	I668	16,0±2,5	I668	16,7±3,4
44.	I76I	5,2±1,5	I758	6,3±1,3
45.			I79I	6,6±2,0
46.	I865	17,7±5,0	I862	12,6±2,0
47.	I905	25,0±5,0	I903	30,8±3,5
48.			I92I	9,4±2,0
49.	I945	5,9±1,8	I943	9,3±1,0
50.			2257	3,0±1,0
51.			2366	3,7±1,0
52.			2376	13,6±2,5
53.			2407	19,2±2,0
54.			252I	1,5±0,7
55.			2537	5,3±2,0
56.			2570	4,0±1,6
57.			2589	5,7±1,2
58.			2620	3,6±0,8
59.			2662	6,4±0,7
60.			2699	5,8±0,9
61.			27II	6,6±2,0
62.			2720	< 1,5

*) Интенсивности определены как
$$J_y(E_x) = \frac{J_y(E_x)}{J_y(975)} \cdot \frac{J_y(975)}{J_y(344)} \cdot 10^3 =$$

$$= \frac{J_y(E_x)}{J_y(975)} \cdot 60,7$$

Т а б л и ц а 3
Коэффициенты внутренней конверсии переходов в ^{152}Gd

№ пп	E перехода, кэВ	$\alpha_K \times 10^4$, эксперимент			$\alpha_K \times 10^4$, теоретические значения ^{II/}					Мульти- польнос- ти
		КВК из γ -спект- ра Ia)	КВК из γ -спект- ра 2б)	КВК из спектров $e-\gamma$ - совпадений	E1	E2	E3	M1	M2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	117,3	5560 \pm 3200	-	-	1750	7600	28000	11500	90000	E2
2.	271,2	540 \pm 81	-	524 \pm 120	175	620	2000	1070	4600	E2
3.	315,0	\sim 374	-	-	115	410	1350	690	3000	E2
4.	344,4	310 ^{B)}	-	-	97	310	970	550	2100	E2
5.	351,5 ^{ж)}	-	-	57 \pm 21	91	295	900	520	2000	E1
6.	368,0	-	-	53	85	260	800	460	1650	E1
7.	411,2	187 \pm 19	-	148 \pm 40	63	185	570	355	1150	E2
8.	432,5	> 33000	-	-	-	-	-	-	-	E0
9.	496,7	234 \pm 52	-	-	40	115	300	205	680	M1
10.	527,1	354 \pm 241	-	-	36	100	250	190	580	E2, M1 (E3, M2)
11.	543,5	178 \pm 98	-	-	33	93	235	175	530	E2, M1 (E3)
12.	586,7	192 \pm 85	-	184 \pm 39	28	79	200	155	430	E0+E2 (M1)
13.	615,6	> 50000	-	-	-	-	-	-	-	E0
14.	6231 ^{ж)}	66,4 \pm 11,9	-	50,7 \pm 16,2	25	67	170	125	370	E2
15.	675,6 ^{ж)}	65,5 \pm 28,8 } 98,0 \pm 44,1	98,0 \pm 44,1	49,0 \pm 18,1	21	56	135	103	280	E2
16.	679,2 ^{ж)}									
17.	703,9	45,2 \pm 9,1	94,0 \pm 28,2	70,4 \pm 21,4	19,5	51	125	94	260	E2, (M1)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18.	752,9 [*]	53,0±19,6	-	-	16,7	43	100	78	215	E2, M1
19.	765,6	34,2±6,9	66,7±28,7	-	16,5	42	95	75	205	E2, (M1)
20.	779,4	17,9±3,2	20,4±4,9	-	15,8	39,5	90	72	190	E1
21.	928,9	36,0±17,6	66,8±32,7	86,8±45,1	11,0	26,5	60	47	115	M1, (E3), (M2)
22.	931,2									
23.	974,3	32,3±5,2	-	28,4±9,1	9,9	24	53	42	103	M1, E2
24.	990,7	21,4±4,8	5,40±1,64	9,12±2,92	9,5	23,3	51	40	99	E2(E1)
25.	1047,9 [*]	> 340	680	-	-	-	-	-	-	E0
26.	1109,8	26,2±6,8	24,5±5,4	-	7,9	19	40	30,5	75	E2, (M1)
27.	1138,0	51,9±13,5	47,3±10,9	84,0±25,0	7,5	18,5	38	29	71	E3, M2
28.	1186,3	4,73±1,84	9,72±2,58	-	7,0	16,5	35	26,5	63	E1
29.	1206 [*]	~ 17,9	22,5	-	6,9	16,3	34	25,2	61	E2, M1
30.	1236,7	-	53	-	-	-	-	-	-	> M2, E0
31.	1261,7	21,9±4,0	17,5±4,0	-	6,3	15	30,5	22,7	53	E2, M1
32.	1299,5	7,04±1,23	7,05±1,00	-	6,0	14	28,5	21,2	50	E1
33.	1317,4 [*]	12,9±3,0	15,0±4,2	-	5,9	13,7	27,5	30,6	48	E2, (M1)
34.	1326,1	14,9±3,2	10,9±2,4	-	5,8	13,5	27,2	20	47,5	E2, (M1)
35.	1348,7 [*]	12,4±5,3	9,60±4,42	-	5,6	13	26,3	19,5	46	E1 или E2
36.	1352,7 [*]									
37.	1361,0	5,92±3,20	10,1±5,5	-	5,6	13	25,7	19	44,2	E2, (E1)
38.	1411,7	7,52±2,52	8,60±2,28	-	5,2	12	23,5	17,5	40,5	E1, (E2)
39.	1447,2	7,98±3,03	6,29±2,68	-	5,0	11,2	22	16,5	38	E1(E2)
40.	1484,0	-	> 58	-	4,3	10,7	20,5	15,5	35,2	> M3, E0

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
41.	1496,0	-	13,8±2,8	-	4,7	10,5	20	15,0	34,2	E2, M1
42.	1518,4	6,46±1,20	7,47±1,27	-	4,6	10,2	19,4	14,7	33	E2, (E1)
43.	1560,2	6,11±1,54	8,78±2,19	-	4,4	9,7	18,2	13,7	31	E2 (E1)
44.	1585,8	20,7±3,1	11,5±2,6	-	4,3	9,4	17,8	13,2	30	M1, E2
45.	1596,8	11,6±2,0	11,9±1,9	-	4,25	9,2	17,5	13,0	29,5	M1, E2
46.	1670,3	5,32±1,09	5,09±1,23	-	3,95	8,5	16,0	12,0	26,5	E1
47.	1757,3	12,0±3,8	9,92±2,43	-	3-60	7,7	14,6	10,7	23,2	E2, M1, (E3)
48.	1790,3	-	5,53±1,83	-	3,50	7,4	14,0	10,2	22,1	E2, (E1)
49.	1863,3	4,55±1,41	6,40±1,28	-	3,25	6,9	12,8	9,5	20,0	E2
50.	1903,2*	~13,4	10,9	-	3,15	6,6	12,3	9,0	19,4	E3
51.	2366,3	-	19,3±5,7	-	2,21	4,5	7,9	5,5	11,7	M2
52.	2376,2	-	8,05±1,72	-	2,20	4,5	7,8	5,4	11,5	M1, (E3)
53.	2406,2	-	4,12±0,62	-	2,18	4,4	7,7	5,3	11,2	E2
54.	2521,7	-	12,2±6,1	-	2,05	4,0	6,9	4,8	10,0	M2
55.	2536,7	-	6,03±2,40	-	2,00	3,9	6,8	4,7	9,8	E2, M1, (E3)
56.	2589,0	-	5,33±1,20	-	1,95	3,8	6,6	4,6	9,6	M1 или E3
57.	2620,1	-	5,92±1,50	-	1,92	3,75	6,5	4,5	9,1	M1 или E3
58.	2698,8	-	2,62±0,51	-	1,86	3,65	6,35	4,2	8,5	E1
59.	2667,7	-	2,14±0,55	-	1,88	3,70	6,4	4,35	8,8	E1
60.	2710,7	-	2,30±0,74	-	1,84	3,60	6,3	4,2	8,4	E1
61.	2720,7	-	13	-	1,84	3,60	6,3	4,15	8,4	> M3, E0

*) Интенсивности K-линий конверсионных электронов взяты из работы /2/.

а) γ - спектр 1 получен с помощью германевого полупроводникового детектора размером 0,7см² x 0,35 см.

б) γ - спектр 2 получен с помощью коаксиального германевого полупроводникового детектора.

в) Экспериментальные коэффициенты конверсии определялись в предположении, что переход 344,4 кэВ является переходом типа E2.

Таблица 4. Отношения приведенных вероятностей переходов для отдельных уровней ^{152}Gd и ^{150}Sm

Квантовые характеристики уровня	Энергии уровней, кэВ		Отношения приведенных вероятностей переходов	^{152}Gd			^{150}Sm		
	^{152}Gd	^{150}Sm		Данная раб.	/3/	/15/	/14/	/15/	/16/
0^{+1}	615,6	740	$\frac{B(E2, 0^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E0, 0^{+1} \rightarrow 0^{+})}$	96	67	95	33	60	80
2^{+1}	931,2	1047	$\frac{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+})}$	60	~50	-	16	-	-
			$\frac{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+1})}$	3,3	0,4	-	0,7	-	-
			$\frac{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+1})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 4^{+})}$	-	-	-	0,6	-	-
			$\frac{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+1})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+})}$	180	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E0, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+})}$	2,8	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E0, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}$	0,05	1,1	-	0,05	-	-
			$\frac{B(E0, 2^{+1} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+1} \rightarrow 0^{+1})}$	0,015	0,0055	-	-	-	-
0^{+11}	1047,9	1256	$\frac{B(E0, 0^{+11} \rightarrow 0^{+})}{B(E0, 0^{+11} \rightarrow 0^{+})}$	59	28	63	16	-	-
			$\frac{B(E0, 0^{+11} \rightarrow 0^{+1})}{B(E2, 0^{+11} \rightarrow 2^{+1})}$	0,015	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E2, 0^{+11} \rightarrow 2^{+1})}{B(E0, 0^{+11} \rightarrow 0^{+})}$	8000	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E2, 0^{+11} \rightarrow 2^{+})}{B(E0, 0^{+11} \rightarrow 0^{+})}$	<16	≈ 4	15	≥ 9	-	-
2^{+11}	1109,8	1167	$\frac{B(E2, 2^{+11} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+11} \rightarrow 0^{+})}$	10	-	-	1,6	-	-
2^{+111}	1318,6	-	$\frac{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 0^{+1})}{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 0^{+})}$	62	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 0^{+1})}{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 2^{+})}$	3,5	-	-	-	-	-
			$\frac{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 2^{+})}{B(E2, 2^{+111} \rightarrow 0^{+})}$	17	-	-	-	-	-

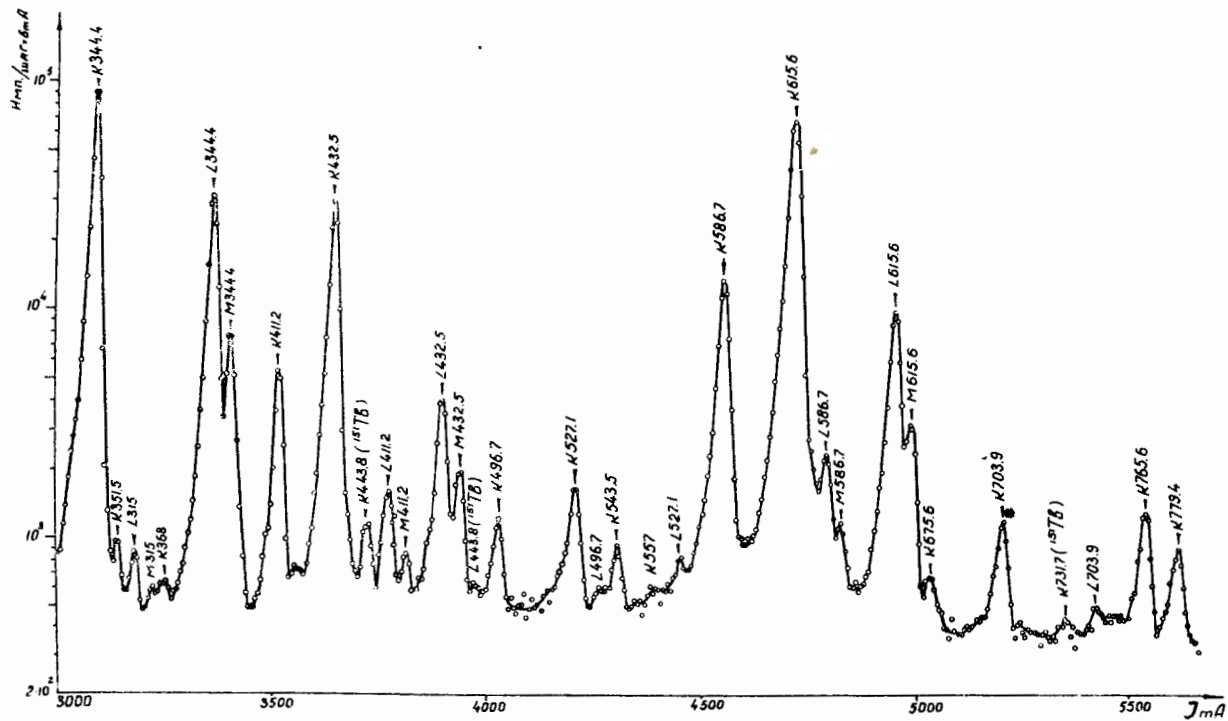


Рис. 1. Спектр конверсионных электронов ^{152}Tb в области энергий 320–780 кэВ.

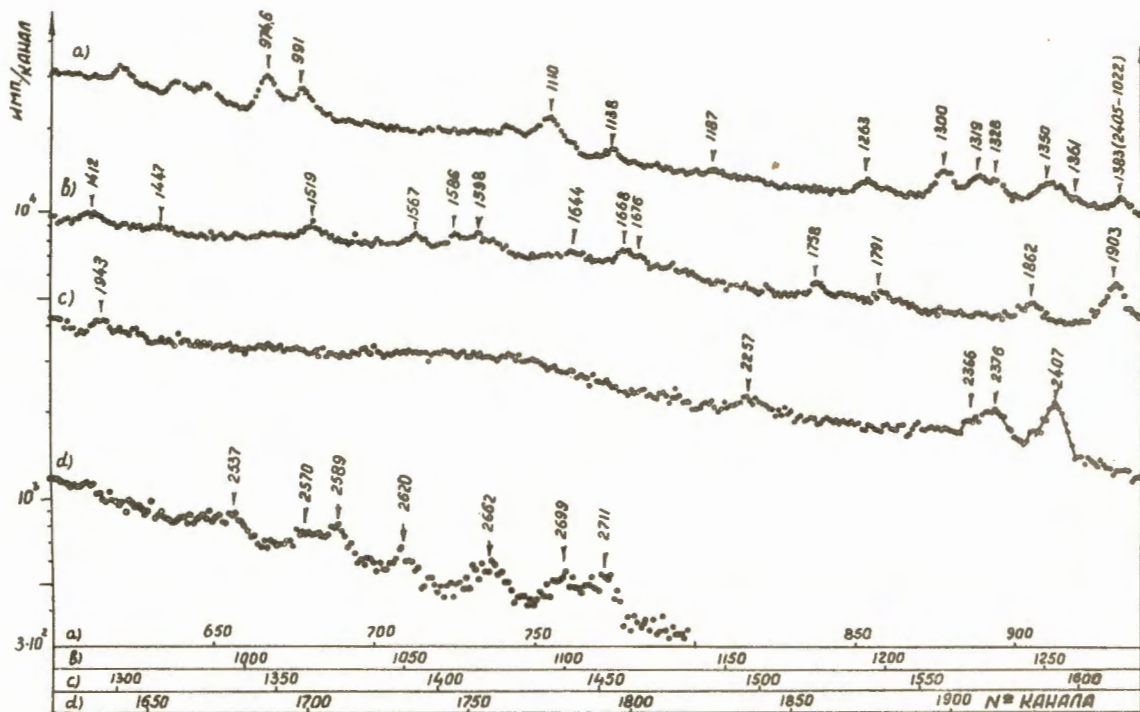


Рис. 3. Гамма-спектр ^{152}Tb , полученный при измерении на коаксиальном Ge(Li) -детекторе.

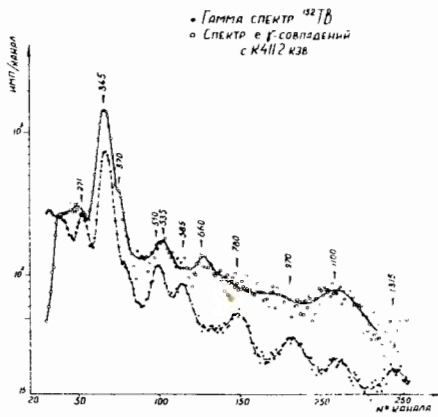
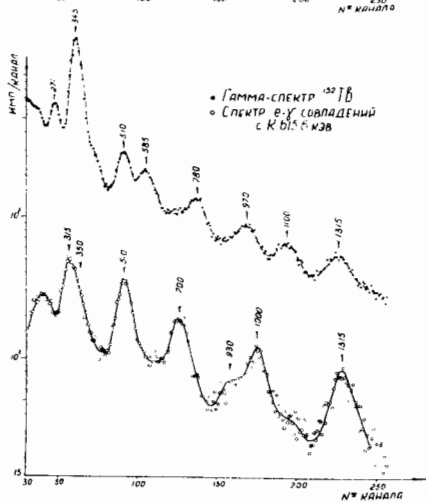
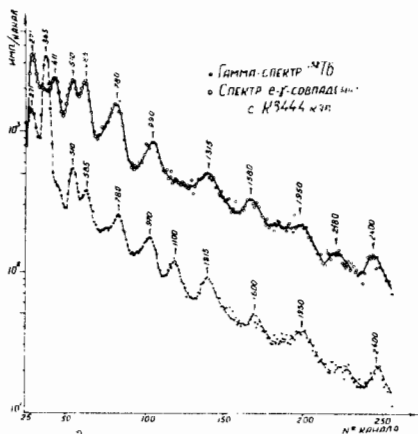


Рис. 4. Спектры $e-\gamma$ -совпадений ^{232}Th .

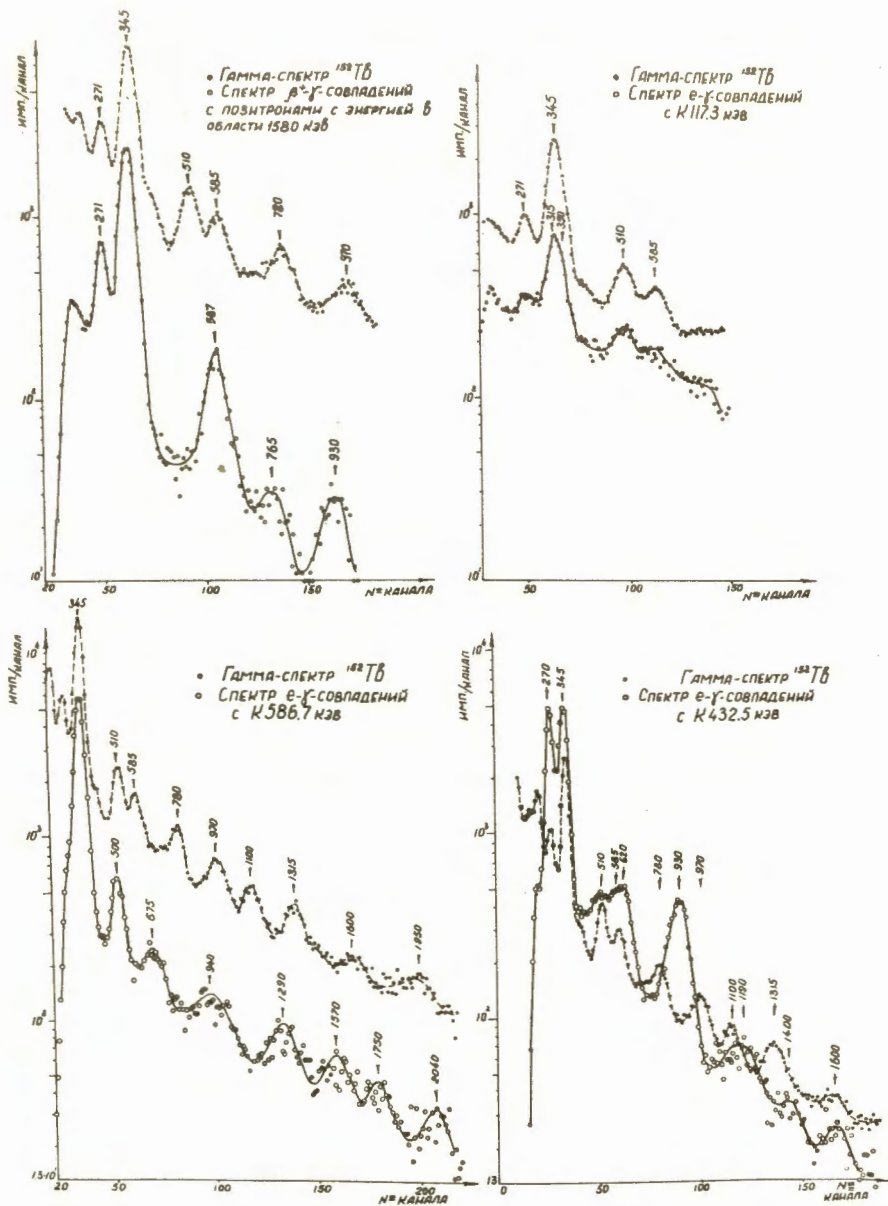


Рис. 5. Спектры $e\text{-}\gamma$ совпадений и спектр $\beta^+\text{-}\gamma$ совпадений ^{152}Tb .

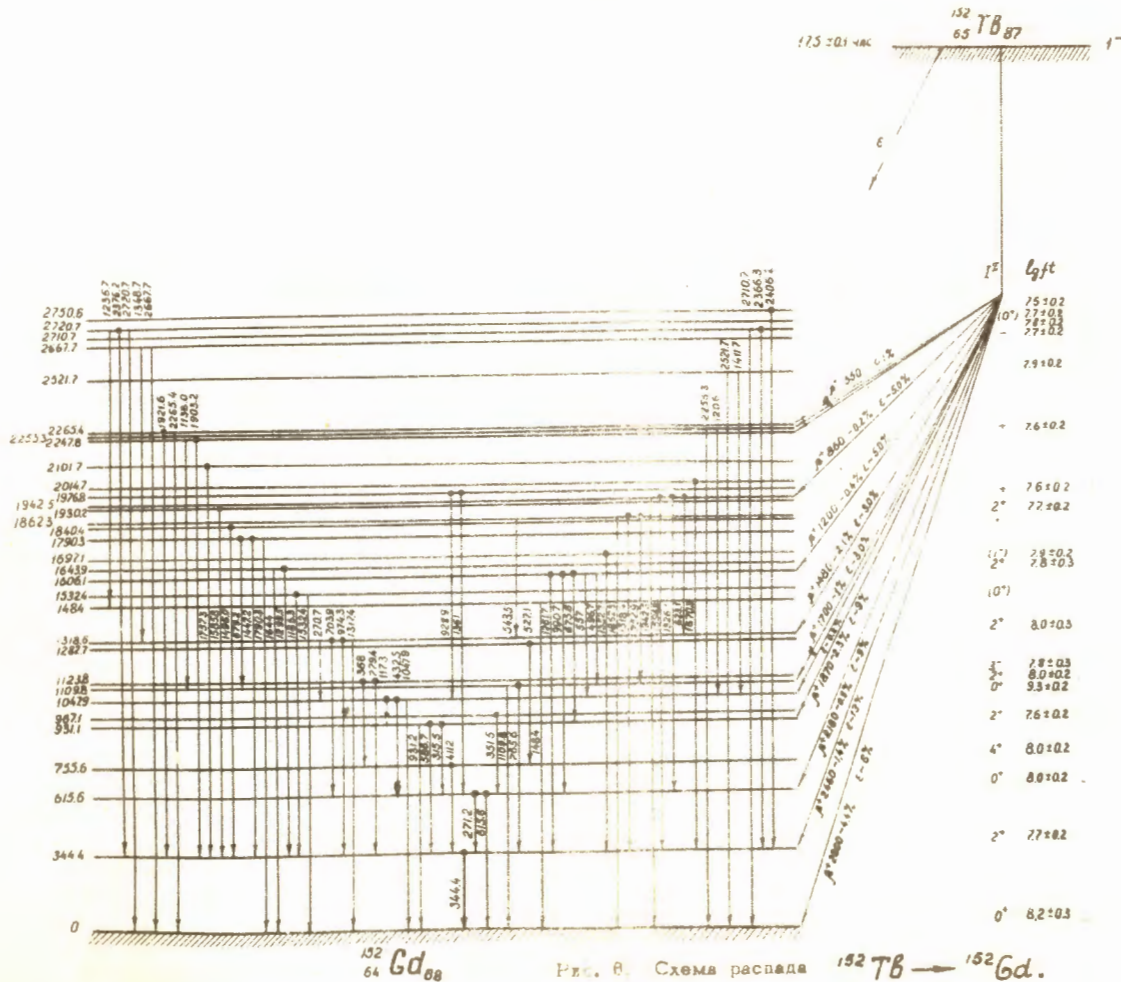


Рис. 8. Схема распада 152 TB → 152 Gd.

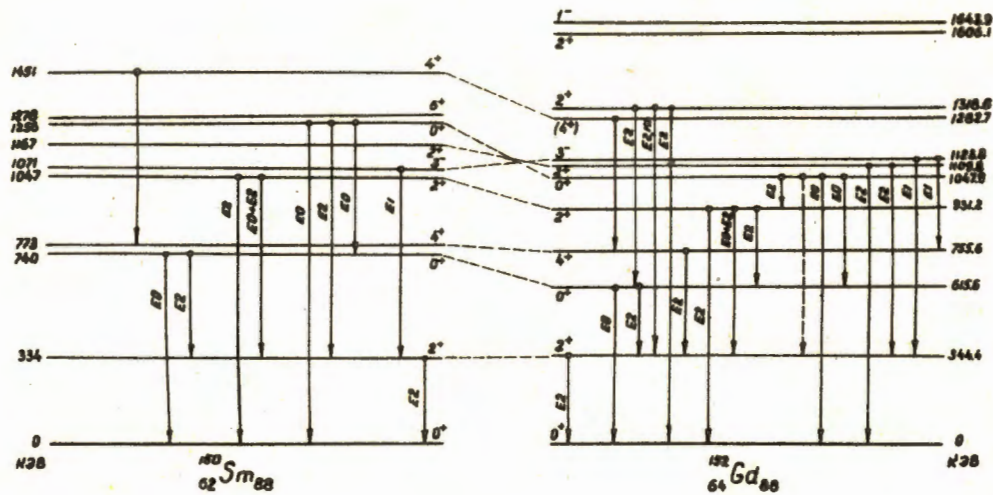


Рис. 7. Сравнение схем уровней ^{152}Gd и ^{150}Sm .