

С 341.16

В-465

3. IV 1967

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P6 - 3128

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

К. Вильский, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев,  
В.В. Кузнецов, Г. Музиоль, О.Б. Нильсен,  
О. Скилбрайт

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

$^{150}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$

1967.

P6 - 3128

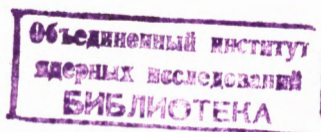
4883/1 48.

К. Вильский\*, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев,  
В.В. Кузнецов, Г. Музиоль, О.Б. Нильсен\*,  
О. Скилбрайт\*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

$^{150}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$

Направлено в "Изв. АН СССР"



---

\* Институт им. Нильса Бора.

## В в е д е н и е

Исследование ядер, находящихся в переходной области от сферических к деформированным ядрам ( $A = 140-150$ ), представляет большой интерес с точки зрения современной теории ядра. В настоящей работе изучалось излучение ядер  $^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 3,1$  часа),  $^{149}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 4,1$  часа),  $^{149}\text{Gd}$  ( $T_{1/2} = 9,3$  дня) и  $^{149}\text{Eu}$  ( $T_{1/2} = 108$  дней).

Изотопы тербия  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$  исследовались ранее авторами работ <sup>/1-11/</sup>.

Расмуссен и др. <sup>/1,2/</sup> при облучении гадолиния протонами с  $E_p = 32-200$  Мэв и европия  $\alpha$ -частицами с  $E_\alpha = 60$  Мэв наблюдали в тербиевой фракции активность, спадающую с периодом полураспада  $T_{1/2} \approx 4$  часа, и приписали ее  $^{149}\text{Tb}$ .

Позднее Тот и Расмуссен <sup>/3/</sup> обнаружили гамма-лучи с энергией 165 и 352 кэв, возникающие при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Авторами работ <sup>/4,5/</sup> был впервые обнаружен изотоп тербия  $^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 3,1 \pm 0,1$  часа). В работе <sup>/4/</sup> изучались  $\gamma$ -спектры  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ , и в обоих случаях наблюдались аннигиляционные пики, а в спектре  $^{150}\text{Tb}$  —  $\gamma$ -лучи с энергией 640 кэв. В работе <sup>/5/</sup> исследовались спектры позитронов этих изотопов тербия. Позже исследование позитронов проводилось также авторами работ <sup>/6,7/</sup>.

В работе <sup>/10/</sup> показано, что спектр конверсионных электронов "короткоживущих" изотопов тербия ( $T_{1/2} = 3-4$  часа) в исследованной фракции тербия, полученной при облучении тантала протонами 660 Мэв, очень сложен и простирается выше 2000 кэв.

Первые варианты схемы распада  $^{149}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Gd}$  были предложены Шпинелем и др. <sup>/8,11/</sup>. Были введены два уровня  $^{149}\text{Gd}$  с энергией 165,5 и 352 кэв.

Исследование излучения  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  проводилось ранее различными методами в работах <sup>/12-34/</sup>.

Недавно появились две работы /35,36/, в которых исследовались гамма-лучи  $^{149}\text{Gd}$ , а в работе /35/ и гамма-лучи  $^{149}\text{Eu}$  с помощью  $\text{Ge}(\text{Li})$ -полупроводниковых детекторов.

В настоящей работе изучался спектр гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$ ,  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$ , а также  $^{150}\text{Tb}$  с помощью  $\text{Ge}(\text{Li})$  полупроводникового детектора с размерами  $0,7\text{ см}^2 \times 0,35\text{ см}$  и 1024 - канального амплитудного анализатора; проводилось также исследование спектра конверсионных электронов  $^{149}\text{Tb}$  в области энергий до 250 кэВ на шестизазорном тороидальном  $\beta$ -спектрометре /37/ (эти работы выполнялись в Институте им. Нильса Бора).

Изучались спектры конверсионных электронов и позитронов "короткоживущих" изотопов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$  с помощью  $\beta$ -спектрометра с трехкратной фокусировкой пучка, описанного в /24/, а также спектры двойных и тройных совпадений гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$  и спектры  $\gamma - \gamma$  -совпадений при распаде  $^{149}\text{Gd}$  на установке, описанной в /38/ (эти работы выполнялись в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне).

Предварительные результаты исследований распада  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  были доложены на летнем совещании по ядерной спектроскопии нейтрондефицитных изотопов, изомерии ядер и теории ядра в Дубне (июль 1965 г.) и опубликованы в /32/.

## 2. Экспериментальная часть и результаты

### 2.1. Приготовление источников

Изотопы тербия и гадолиния получались в результате расщепления ядер тантала под действием протонов с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Мишени тантала облучались в течение 2-3 часов на внутреннем пучке синхроциклотрона. Из облученных мишеней выделялась группа редкоземельных элементов. Фракции тербия и гадолиния выделялись из смеси редкоземельных элементов хроматографическим методом /39/.

Для исследования спектра конверсионных электронов и позитронов "короткоживущих" изотопов тербия с помощью  $\beta$ -спектрометра с трехкратной

фокусировкой и спектров  $\gamma - \gamma$  - и  $\beta^+ - \gamma$  - совпадений при распаде  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{160}\text{Tb}$  использовалась тербиевая фракция. Измерения начинались через четыре часа после конца облучения.

Для исследования спектров  $\gamma - \gamma$  -совпадений при распаде  $^{149}\text{Gd}$  использовалась гадолиниевая фракция, очищенная хроматографическим методом от дочерних изотопов европия, спустя 15 дней после конца облучения.

В этом источнике  $^{147}\text{Gd}$  ( $T_{1/2} = 35$  часов) практически не наблюдался. Изучение гамма-спектров  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{160}\text{Tb}$  с помощью  $\text{Ge(Li)}$  полупроводникового детектора проводилось на источниках, полученных при разделении тербиевой фракции на масс-сепараторе <sup>40/</sup> в институте им. Нильса Бора.

Разделение изотопов тербия на масс-сепараторе проводилось через 15 часов после хроматографического разделения редкоземельных элементов в Дубне и через 20 часов после конца облучения танталовой мишени.

После распада  $^{149}\text{Tb}$  тот же источник был использован для исследования гамма-спектров  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$ , накопившихся при распаде  $^{149}\text{Tb}$  ( $^{149}\text{Tb}$  4,1 ч,  $^{149}\text{Gd}$  9,3 дн.,  $^{149}\text{Eu}$  106 дн.,  $^{149}\text{Sm}$ ). Измерение гамма-спектров  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  выполнено через 48 дней после разделения тербиевых изотопов на масс-сепараторе.

## 2.2. Исследование излучения $^{149}\text{Tb}$ и $^{160}\text{Tb}$

Спектр конверсионных электронов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{160}\text{Tb}$  исследовался с помощью  $\beta$ -спектрометра с трехкратной фокусировкой. В спектре конверсионных электронов тербиевой фракции наблюдались также конверсионные электроны, принадлежащие долгоживущим изотопам  $^{151}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 17$  час),  $^{152}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 17,5$  час),  $^{155}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 5,6$  дн.) и др. На рис. 16 представлен один из участков спектра конверсионных электронов. Показаны две серии измерений: незачерненными кружками - первая серия, зачерненными - вторая серия, полученная через 8 часов после начала измерения первой серии.

Исследование спектров гамма-лучей разделенных изотопов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{160}\text{Tb}$  с помощью  $\text{Ge(Li)}$  полупроводникового детектора позволило более однозначно идентифицировать линии конверсионных электронов.

На рис. 2а, б и 2в, г показаны спектры гамма-лучей  $^{160}\text{Tb}$  и  $^{149}\text{Tb}$  соответственно. Гамма-пики, принадлежащие  $^{160}\text{Tb}$  и  $^{149}\text{Tb}$ , на рисунках заштрихованы.

Как видно из спектров, использованные источники  $^{160}\text{Tb}$  и  $^{149}\text{Tb}$  содержали значительные примеси  $^{151}\text{Tb}$  и  $^{149}\text{Gd}$ . Это связано главным образом с тем, что к моменту разделения на масс-сепараторе "короткоживущие" изотопы тер-

бия ( $^{150}\text{Tb}$  и  $^{149}\text{Tb}$ ) сильно распались и в тербиевой фракции содержалось большое количество соседнего изотопа  $^{151}\text{Tb}$  и дочернего  $^{149}\text{Gd}$ . Одновременно с исследованием гамма-спектра измерялся спектр конверсионных электронов в области энергий электронов до 250 кэВ с помощью тороидального шестизазорного  $^{149}\text{Tb}$ -спектрометра /37/. Участок этого спектра изображен на рис. 1а, где также показаны две серии измерений, причем вторая серия получена спустя ~ 10 часов после начала измерения первой.

В табл. 1 приведены энергии и относительные интенсивности линий конверсионных электронов переходов 164,5 и 187,3 кэВ  $^{149}\text{Tb}$  и приведены экспериментальные и теоретические отношения  $K/L$ . Теоретические значения отношений  $K/L$  рассчитаны по данным таблиц Слива и Банд /41/.

Одновременное исследование гамма-спектра и спектра конверсионных электронов  $^{149}\text{Tb}$  позволило нам определить экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии для переходов 164,5 и 187,3 кэВ при распаде  $^{149}\text{Tb}$  нормированием относительного значения коэффициента внутренней конверсии перехода 149,9 кэВ типа  $M1$  ( $\alpha_K = 0,490$ ), относящегося к распаду дочернего  $^{149}\text{Gd}$ . С другой стороны, в работе /11/ определена мультипольность перехода 187,3 кэВ типа  $E2$  по отношению  $L_I : L_{II} : L_{III}$ .

В табл. 2 сведены результаты обработки гамма-спектров и спектров конверсионных электронов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ , здесь же приведены значения экспериментальных и теоретических коэффициентов внутренней конверсии и сделаны заключения о мультипольностях отдельных переходов. При вычислении экспериментальных значений  $\alpha_K$  принято также, что  $\gamma$ -переход 187,3 кэВ в  $^{149}\text{Gd}$  - типа  $E2$  и  $\gamma$ -переход 639 кэВ в  $^{150}\text{Gd}$  - типа  $E2$ . Теоретические значения рассчитаны по таблицам Слива и Банд /41/.

В спектре позитронов тербиевой фракции, исследованном с помощью  $\beta$ -спектрометра с трехкратной фокусировкой, помимо позитронов  $^{152}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 17,5$  час), наблюдались позитроны "короткоживущих" изотопов тербия, интенсивность которых убывала с периодом полураспада  $T_{1/2} = 3-4$  часа.

На рис. 3 приведен график Кюри и спектры позитронов "короткоживущих" изотопов тербия. Как видно из рисунка, наблюдаются три интенсивные компоненты позитронов с граничными энергиями (3700±40) кэВ, (3040±60) кэВ и (1780±100) кэВ. Интенсивность позитронов на всех участках спектра убывала со средним периодом полураспада = 3,5 часа. Поэтому мы не могли сказать,

какая часть спектра относится к  $^{150}\text{Tb}$ , а какая к  $^{149}\text{Tb}$ . Однако привлечение дополнительных аргументов (см. ниже) позволяет сделать заключение, что позитроны с граничной энергией 3100 Мэв принадлежат  $^{150}\text{Tb}$  и позитроны с граничной энергией 1780 кэв -  $^{149}\text{Tb}$ .

Отношение интенсивности компоненты с граничной энергией 3700 кэв к интенсивности линии  $K\beta_{99}^{150}\text{Tb}$  равно 30. Интенсивности позитронов с граничными энергиями 3700, 3040 и 1780 кэв наблюдаются в спектре в соотношении 1:0,32:0,53 соответственно. Эта оценка сделана для момента начала измерений позитронного спектра и будет в дальнейшем полезна для оценки количеств позитронов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$  в наших экспериментах.

На рис. 4 и 5 показаны спектры  $\gamma - \gamma$  -совпадений в тербиевой фракции: спектр совпадений с  $\gamma$ -лучами с энергией около 640 кэв и спектр  $\beta^+ - \gamma$  -совпадений. Чтобы исключить вклад изотопов тербия с  $T_{1/2} > 3-4$  часа (в основном  $^{182}\text{Tb}$  и  $^{181}\text{Tb}$ ), производились измерения спектров совпадений на том же источнике через 30 часов после окончания первых измерений. Затем спектры, полученные в результате второй серии измерений вычитались из спектров первой серии. Период полураспада долгоживущих изотопов тербия принимался при этом равным 17,5 часа.

На рис. 4а показан график спада интенсивности позитронов, т.е. совпадений двух аннигиляционных гамма-квантов в процессе измерения спектров  $\beta^+ - \gamma$  -совпадений. Видно, что позитронов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$  в момент начала измерений было в несколько раз больше, чем позитронов более долгоживущих изотопов тербия (в основном  $^{182}\text{Tb}$ ).

Анализ спектров  $\beta^+ - \gamma$  -совпадений показал, что только  $\sim 30\%$  всех позитронов ( $^{149}\text{Tb} + ^{150}\text{Tb}$ ) совпадает с гамма-лучами, 70% идет в основное состояние  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{150}\text{Gd}$ . В спектре  $\beta^+ - \gamma$  -совпадений (рис. 4) наблюдаются совпадения с гамма-лучами с энергией  $\approx 640, \approx 560, \approx 400, \approx 8$ ,  $\approx 870$  кэв, а также относительно слабые совпадения с гамма-лучами с энергией больше 1 Мэв. 2.3. И с с л е д о в а н и е и з л у ч е н и я  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$ .

Исследование гамма-спектров  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  производилось с помощью (Ge(Li) полупроводникового детектора.

Гамма-спектр  $^{149}\text{Gd} + ^{149}\text{Eu}$  показан на рис. 6.

В табл. 3 приведены данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  в сравнении с данными недавно появившихся в пе-

чати работ /36,57/, в таблице даны также экспериментальные и теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии и выводы о мультипольностях гамма-переходов, сопровождающих распад  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$ . При расчете коэффициентов внутренней конверсии мы приняли в соответствии с результатами работ /14, 28/, что гамма-переход 498 кэВ при распаде  $^{149}\text{Gd}$  - типа  $E3$  ( $a_k = 2,9 \cdot 10^{-2}$ ) а гамма-переход 277,2 кэВ при распаде  $^{149}\text{Eu}$  - типа  $M1$  ( $a_k = 9 \cdot 10^{-2}$ ).

Как уже отмечалось выше, проводилось исследование спектров  $\gamma - \gamma$  - совпадений при распаде  $^{149}\text{Gd}$  с гамма-квантами 150, 270, 300, 515, 540, 650 и 750 кэВ. На рис. 7 показаны спектры  $\gamma - \gamma$  - совпадений с участками гамма-спектра, которые обозначены на рисунке штриховкой. Совпадения с участками спектра "б" и "и" являлись фоновыми для основных совпадений.

### 3. Обсуждение результатов

#### 3.1. Позитронный распад $^{149}\text{Tb}$ и $^{150}\text{Tb}$

К сожалению, мы не смогли измерить спектры позитронов разделенных изотопов  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ . Поэтому непосредственно по результатам измерения позитронных спектров  $^{149}\text{Tb}$  +  $^{150}\text{Tb}$  нельзя судить о том, какие позитроны принадлежат  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ . Однако, привлекая дополнительные сведения, можно сделать об этом некоторые заключения. Имеющиеся данные об энергиях  $\alpha$ -распада  $^{149}\text{Tb}$  ( $Q_\alpha = 4098 \pm 50$  кэВ)<sup>/42/</sup>,  $\alpha$ -распада  $^{149}\text{Gd}$  ( $Q_\alpha = 3123 \pm 5$  кэВ)<sup>/43/</sup> и  $\beta$ -распада  $^{148}\text{Eu}$  ( $E_\beta = 2760 \pm 40$  кэВ)<sup>/44/</sup> позволяют вычислить разность масс  $^{149}\text{Tb} - ^{149}\text{Gd}$ . Она равна  $(3735 \pm 50)$  кэВ. Это означает, что при распаде  $^{149}\text{Tb}$  не могут возникать позитроны с энергией, большей  $(2715 \pm 50)$  кэВ. Таким образом, позитроны с граничной энергией  $3040 \pm 60$ ,  $(3700 \pm 40)$  кэВ возникают при распаде  $^{150}\text{Tb}$ . Если бы позитроны с граничной энергией 1780 кэВ принадлежали  $^{150}\text{Tb}$ , то мы должны были бы наблюдать уровень  $^{150}\text{Gd}$  (и связанные с ним гамма-переходы) с энергией не меньше 2000 кэВ. При этом заселение этого уровня путем электронного захвата должно было бы быть, учитывая увеличение отношения  $K/\beta_+$ , даже большим, чем заселение основного состояния  $^{150}\text{Gd}$ . Это противоречит результатам изучения  $\beta^+ - \gamma$  - совпадений. Следовательно, по крайней мере основная часть интенсивности позитронов с граничной энергией 1780 кэВ принадлежит распаду  $^{149}\text{Tb}$ .



### 3.2. С х е м а р а с п а д а $^{149}\text{Tb} \longrightarrow ^{149}\text{Gd}$

На рис. 8 приведена предлагаемая нами схема распада  $^{149}\text{Tb} \longrightarrow ^{149}\text{Gd}$ . Естественно считать, что самый интенсивный переход с энергией 164,5 кэв определяет положение уровня с той же энергией. Наблюдение совпадений с  $\gamma$ -лучами 165 кэв в спектре совпадений с  $\gamma$ -квантами с энергией около 640 кэв (рис. 5) показывает, что переход 650 кэв идет в каскаде с переходом 165 кэв. Такой же вывод следует из анализа спектра совпадений с  $\gamma$ -лучами 165 кэв, в котором наблюдались совпадения с  $\gamma$ -лучами 190; 400, 500; 650 и 850 кэв. Таким образом, на основе результатов изучения  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений следует ввести уровни с энергиями 352,817 и 1206 кэв. Можно предположить также существование уровней с энергиями 1028, 1436 и 1593 кэв.

Как указано выше, источник, использованный для изучения гамма-спектра  $^{149}\text{Tb}$ , содержал  $^{149}\text{Gd}$ , накопившийся при распаде  $^{149}\text{Tb}$ . Это обстоятельство позволило нам определить число  $\gamma$ -квантов на один распад  $^{149}\text{Tb}$  для некоторых гамма-переходов, поскольку известно, что  $\gamma$ -лучи с энергией 299 кэв возникают в 27% случаев на распад  $^{149}\text{Gd}$ . Так, оказалось, что  $\gamma$ -лучи с энергией 165 кэв возникают в 28% случаев распада  $^{149}\text{Tb}$  (учитывалось, что  $^{149}\text{Tb}$  в 10% случаев распадается путем испускания  $\alpha$ -частиц в  $^{145}\text{Eu}$ ).

С другой стороны, в исследуемом источнике содержался  $^{145}\text{Eu}$ , накопившийся при распаде  $^{149}\text{Tb}$  с момента разделения на масс-сепараторе до измерения гамма-спектра. Это время равно 5 часам. Известно, что гамма-лучи с энергией 893 кэв возникают в 68% <sup>44/</sup> случаев распада  $^{145}\text{Eu}$ . Это позволило нам оценить долю  $\alpha$ -распада  $^{149}\text{Tb}$ . Она оказалась равной (13 $\pm$ 4)% на один распад  $^{149}\text{Tb}$ . Используя эти сведения, мы смогли оценить распад  $^{149}\text{Tb}$  путем электронного захвата на отдельные уровни  $^{149}\text{Gd}$  (рис. 8) и соответствующие значения  $\lg f$ . При этом разность масс была принята равной (3735 $\pm$ 50) кэв из данных пика  $\alpha$ - и  $\beta$ -распада (см. выше).

По данным об интенсивности аннигиляционного пика в гамма-спектре  $^{149}\text{Tb}$  мы подсчитали интенсивность позитронов в % на распад. Коэффициент перехода от интенсивности аннигиляционного пика к интенсивности позитронов был получен из анализа гамма-спектра  $^{150}\text{Tb}$ , для которого оценено отношение  $\frac{I_{\beta^+}}{I_{\text{К } 839}}$ .  $^{149}\text{Tb}$  распадается путем испускания позитронов в  $\approx$  5% случаев.

Экспериментальное значение граничной энергии позитронов 1780 кэв и значение разности масс 3735 кэв указывают на то, что позитронный распад

происходит на уровень с энергией  $\approx 1$  Мэв. При рассмотрении данных об интенсивностях распада  $^{149}\text{Tb}$  на уровни  $^{149}\text{Gd}$  можно ожидать, что наблюдаемые позитроны связаны с наиболее сильно заселяемыми уровнями с энергиями 817 и 1206 кэв.

Граничные энергии позитронов при этом должны быть 1900 и 1510 кэв, соответственно. Вероятно, компонента позитронов с граничной энергией 1780 кэв (рис. 3) состоит на самом деле из двух компонент с указанными энергиями и приблизительно равными интенсивностями. Разделить эти компоненты при изучении позитронного спектра в тербиевой фракции мы не смогли. Существование  $\beta^+$ -распада на уровни 817 и 1206 кэв подтверждается также наблюдением в опытах по тройным  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадениям (совпадениям между позитронами и  $\gamma$ -лучами с энергией 800, 870 и 1200 кэв) (рис. 4). Указанные энергии  $\gamma$ -лучей практически совпадают с энергиями  $\gamma$ -переходов, идущих с уровней 816 и 1206 кэв. Наблюдаемые в том же опыте совпадения с гамма-лучами с энергией 640 кэв отчасти обязаны совпадениям позитронов при распаде  $^{149}\text{Tb}$  и  $\gamma$ -лучей с энергией 652 кэв. Но при распаде  $^{149}\text{Tb}$   $\gamma$ -лучи с энергией 652 кэв только в два раза интенсивнее  $\gamma$ -лучей 817 кэв. То же соотношение должно сохраниться и в спектре  $\beta^+$ - $\gamma$ -совпадений. Таким образом, большая часть интенсивности рассмотренных совпадений относится к распаду  $^{150}\text{Tb}$ , т.е. наблюдаются совпадения позитронов с  $\gamma$ -лучами 639 кэв при распаде  $^{150}\text{Tb}$ .

Пока трудно высказаться определенно о квантовых характеристиках уровней  $^{149}\text{Gd}$ . Согласно схеме Майер, основное состояние  $^{149}\text{Gd}$  может иметь квантовые характеристики либо  $f 7/2$ , либо  $h 9/2$ . На основании данных о распаде  $^{149}\text{Gd}_{85}$  и по аналогии с ядром  $^{147}\text{Sm}_{85}$  можно заключить, что более вероятными являются квантовые характеристики  $f 7/2$ . Мультипольности  $\gamma$ -переходов с уровней 164,5 и 352 кэв (табл. 2) не противоречат приписанию этим уровням квантовых характеристик  $5/2^-$  и  $3/2^-$ , соответственно. Такие характеристики имеют первый и второй возбужденные уровни в  $^{147}\text{Gd}_{85}$  и  $^{147}\text{Sm}_{85}$ . Для уровней с энергиями 817 и 1206 кэв можно указать как наиболее вероятные характеристики  $3/2^-$  и  $5/2^-$  соответственно. Основное состояние  $^{149}\text{Tb}$ , вероятно, имеет квантовые характеристики  $5/2^+$ .

Ожидаемая аналогия между ядрами  $^{149}\text{Gd}_{85}$  и  $^{147}\text{Sm}_{85}$  проявляется, по-видимому, также и в других свойствах возбужденных состояний. Мы рас-

считали на основе экспериментальных данных настоящей работы и работ /45,46/ отношения приведенных вероятностей переходов типа E2 с уровней  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{147}\text{Sm}$ . Как видно из табл. 4, E2-переходы типа  $3/2^- \rightarrow 5/2^-$  ускорены относительно E2-переходов типа  $3/2^- \rightarrow 7/2^-$  примерно в 10-50 раз в обоих ядрах. В случае  $^{147}\text{Sm}$  /45/ рассчитаны также приведенные вероятности B(E2) для переходов 76, 198 и 122 кэВ, идущих с уровней 198 кэВ ( $3/2^-$ ) и 122 кэВ ( $5/2^-$ ). Из таблицы видно, что переходы типа E2 с энергией 76, 122 и 198 кэВ в  $^{147}\text{Sm}$  ускорены в 52, 172 и 74 раза соответственно. Из сравнения значений отношений приведенных вероятностей переходов типа E2 к приведенным вероятностям, рассчитанным по Мошковскому (см. /41/) ( $T_{1/2}^{(y)}$ ) определялось с учетом статистического множителя S), и сравнения с  $^{147}\text{Sm}$  следует сделать заключение, что нижние уровни с энергиями 165, 352 и 817 кэВ ядра  $^{149}\text{Gd}$  имеют, по-видимому, коллективную природу.

### 3.3. С х е м а р а с п а д а $^{180}\text{Tb}$

На рис. 9 представлена предлагаемая нами схема уровней  $^{180}\text{Gd}$  в сравнении со схемой уровней  $^{148}\text{Sm}$  /47,48/. Как видно из гамма-спектра и табл. 2, гамма-переход 639 кэВ интенсивнее всех остальных переходов, возникающих при распаде  $^{180}\text{Tb}$ , вместе взятых. Ясно, что этот переход идет с уровня с энергией 639 кэВ в  $^{180}\text{Gd}$ . Экспериментальных данных, позволяющих установить квантовые характеристики этого уровня, нет, однако мы считаем, что так же как в других четно-четных ядрах, это должен быть уровень типа  $2^+$ , и следовательно, гамма-переход 639 кэВ - типа E2.

Мы считаем, что следующие по интенсивности гамма-переходы 499 и 570 кэВ идут на уровень 639 кэВ, определяя уровни с энергиями 1138 и 1209 кэВ. Эти переходы - типа E1 и E2+M1 соответственно; в четно-четных ядрах не наблюдаются переходы такой мультипольности, идущие в основное состояние. Предположение о существовании уровней 1138 и 1209 кэВ не противоречит опытам по  $\gamma$ - $\gamma$  - совпадениям с гамма-лучами 640 кэВ. Мультипольность перехода 499 кэВ типа E1 (табл. 2) определяет наиболее вероятные квантовые характеристики уровня 1138 кэВ  $3^-$ . Уровню 1209 кэВ следует приписать квантовые характеристики  $2^+, 3^+, 4^+$ , однако при сопоставлении с ядрами  $^{148}\text{Sm}_{86}$  и  $^{152}_{64}\text{Gd}_{88}$  предпочтительнее этому уровню приписать квантовые характеристики  $4^+$ .

Уровни с энергиями 1516, 1640, 1790 и 2085 кэВ предположительно вводятся на основании совпадения сумм энергий переходов, а также резуль-

татов изучения совпадений с гамма-лучами 640 кэв (рис. 5). Как показано выше, позитроны с граничной энергией (3700±40) кэв и (3040±60) кэв возникают при распаде  $^{150}\text{Tb}$ . Из опытов по  $\beta^+ - \gamma$  -совпадениям следует, что позитроны с  $E_{\beta^+} = 3700$  кэв идут в основное состояние  $^{150}\text{Gd}$ . В тех же опытах по  $\beta^+ - \gamma$  -совпадениям мы наблюдаем совпадения позитронов с гамма-лучами 640 кэв. Это значит, что позитроны с граничной энергией 3040 кэв идут на уровень 639 кэв ( $2^+$ )  $^{150}\text{Gd}$ . Эти сведения о позитронном распаде  $^{150}\text{Tb}$  позволяют оценить значения  $I_{\beta^+}$  для распада  $^{150}\text{Tb}$  на основное состояние ( $0^+$ ) и первое возбужденное состояние ( $2^+$ )  $^{150}\text{Gd}$ . Они равны  $7,4 \pm 0,3$  и  $7,8 \pm 0,3$ , соответственно. Таким образом, это переходы первого порядка запрещения ( $\Delta I = 0, 1$ , да), а основное состояние  $^{150}\text{Tb}$ , очевидно, имеет квантовые характеристики  $1^-$ . Из полученного нами отношения интенсивностей

$$\frac{I_{\beta^+ 3700}}{I_{\text{K } 639}} = 30,$$

используя коэффициент внутренней конверсии на К-оболочке для перехода 639 кэв (E2), равный 0,064, получаем, что интенсивность позитронов при распаде  $^{150}\text{Tb}$  составляет около 25% интенсивности гамма-перехода с энергией 639 кэв. Эти данные позволяют сделать заключение о том, что при распаде  $^{150}\text{Tb}$  на уровень 639 кэв  $^{150}\text{Gd}$  экспериментальное отношение интенсивностей электронного захвата и позитронного распада отличается от теоретического для разрешенного перехода. Действительно, как нетрудно видеть из табл. 2, при распаде  $^{150}\text{Tb}$  заселение уровня с энергией 639 кэв  $^{150}\text{Gd}$  путем электронного захвата и  $\beta^+$ -распада составляет около 50%. Следовательно, отношение интенсивностей электронного захвата и позитронного распада ( $\kappa/\beta^+$ ) на уровень 639 кэв, определенно, больше 8 ( $\frac{50\%}{6\%} = 8,3$ ). Теоретическое значение того же отношения при  $E_{\beta^+} = 3100$  кэв равно 0,7.

Разногласие между экспериментальным и теоретическим отношениями  $\kappa/\beta^+$  для бета-перехода первого запрещения наблюдалось также при распаде  $^{161}\text{Er}$  в работе /49/, выполненной в спектроскопической лаборатории в Дубне. Интересно получить более точные данные о распаде  $^{150}\text{Tb}$ , чтобы уточнить экспериментальные данные об этой аномалии отношения  $\kappa/\beta^+$  и проанализировать этот вопрос теоретически.

Айхлером /50/ проведен анализ энергетического поведения первых  $2^+$  и  $3^-$  уровней в четно-четных ядрах ( $Z = 28-86$ ,  $N = 28-90$ ). Если проанализировать также зависимость энергетического положения первых  $4^+$  уровней для четно-четных ядер гадолиния, то оказывается, что наблюдается плавная

зависимость снижения  $4^+$  уровней по энергии, как и для первых  $2^+$  уровней  $^{150}/$ , по мере удаления от заполненной нейтронной оболочки ( $N = 82$ ) к области деформированных ядер с  $N > 80$ .

#### 3.4. С х е м а р а с п а д а $^{149}\text{Gd} \longrightarrow ^{149}\text{Eu}$

На основании анализа спектра гамма-лучей, спектров  $\gamma - \gamma$ -совпадений, баланса интенсивностей и анализа литературных данных предлагается схема распада  $^{149}\text{Gd} \longrightarrow ^{149}\text{Eu}$  (рис. 8). Основному состоянию  $^{149}\text{Eu}$  приписываются квантовые характеристики  $d 5/2$  на основе модели оболочек и сравнения с соседними ядрами  $^{147}\text{Eu}$  и  $^{151}\text{Eu}$ .

Интенсивный переход 149,9 кэв определяет первый возбужденный уровень  $^{149}\text{Eu}$  ( $g 7/2$ ). Второй возбужденный уровень 497 кэв введен также ранее авторами других работ и подтверждается совпадениями с гамма-лучами 150 кэв. Мультипольности перехода 497 кэв типа E3 и перехода 346 кэв типа M2 (см. табл. 3) позволяют надежно приписать квантовые характеристики  $h 11/2$  уровню 497 кэв  $^{149}\text{Eu}$ . Время жизни этого уровня определено в работе  $^{123}/$  и равно  $(2,48 \pm 0,05) \cdot 10^{-6}$  сек.

В спектре совпадений с гамма-квантами 150 кэв наблюдались совпадения с гамма-лучами 280 кэв ( $\approx 2,5\%$ ), 340 кэв ( $\approx 8,3\%$ ), 500 кэв (1,2%), 650 кэв ( $\approx 1\%$ ), 790 кэв (4%) и 940 кэв ( $\approx 1\%$ ).

На основании этих данных и гамма-спектра  $^{149}\text{Gd}$  можно сказать, что подтверждаются введенные ранее уровни с энергией 497, 667, 795, 940 кэв, кроме того, можно ввести уровни с энергиями 1081 и 1098 кэв.

В совпадениях с гамма-квантами 270 кэв обнаружены совпадения с гамма-лучами 150 кэв (12%), 500 кэв (15%) и 650 кэв (4%).

Это позволяет также доказать существование уровней с энергией 534 и 667 кэв. В совпадениях с гамма-квантами 300 кэв наблюдались те же совпадения, что и с гамма-квантами 270 кэв, но в значительно меньшем количестве. Это указывает на то, что гамма-кванты 299 кэв должны заселять изомерный уровень 497 кэв ( $h 11/2$ ), что также указывает на существование уровня 795 кэв.

Наблюдение  $\gamma - \gamma$ -совпадений с гамма-квантами 515 кэв показывает, что существуют уровни с энергией 667 и 940 кэв, т.к. наблюдаются совпадения гамма-лучей 150 и 270 кэв с гамма-квантами 515 кэв практически в 100% случаев.

Совпадения с гамма-квантами в области 540 кэв не противоречат введению уровней с энергией 534 и 795 кэв.

Наблюдаемые совпадения гамма-лучей с энергией 150 кэв (40%) и 270 кэв (28%) с гамма-пиком 650 кэв также указывают на существование уровней 667 и 940 кэв.

Совпадения с гамма-квантами в области 750 кэв позволяют ввести уровень с энергией 994 кэв. На рис. 8 на основании наших результатов и данных ранних работ других авторов предлагается схема возбужденных уровней  $^{149}\text{Eu}$ . Недавно появились работы <sup>/36,57/</sup>, в которых даны дополнительные сведения о схеме распада  $^{149}\text{Gd} \rightarrow ^{149}\text{Eu}$ . Наши результаты в основном хорошо согласуются с данными этих работ (см. таблицу № 3). Дополнительно нами введены уровни с энергией 994 и 1081 кэв.

На схеме возбужденных уровней  $^{149}\text{Eu}$  приведены значения  $\lg ft$  и заселенности уровней путем электронного захвата, рассчитанные на основании баланса интенсивностей. При расчете значений  $\lg ft$  принималось, что разность масс  $^{149}\text{Gd} - ^{149}\text{Eu}$  равна 1220 кэв <sup>/51/</sup>. Анализ результатов позволяет приписать уровням с энергией 534, 667, 750, 795 и 940 кэв вероятные квантовые характеристики  $7/2^+$ ,  $9/2^+$ ,  $7/2^-$ ,  $9/2^-$  и  $7/2^+$  соответственно, что также не противоречит результатам недавно опубликованной работы <sup>/36/</sup>. Как уже говорилось в работах <sup>/15,52/</sup>, сравнение нижних уровней  $^{147}\text{Eu}_{84}$ ,  $^{149}\text{Eu}_{63}$ ,  $^{151}\text{Eu}_{63}$  (основных состояний  $d\ 5/2$ , первых возбужденных уровней  $g\ 7/2$  и вторых уровней  $h\ 11/2$ ) указывает на то, что все эти уровни вполне определенно описываются по схеме Майер. При этом обращается внимание на то, что по мере удаления от заполненной нейтронной оболочки ( $N = 82$ ), приближаясь к области деформированных ядер, энергии уровней снижаются и энергетическая разность между ними становится меньше, и уже для ядра  $^{153}\text{Eu}_{90}$  наблюдается другой характер нижних уровней, описываемых уже схемой Нильсона.

Как отмечалось в работе <sup>/52/</sup>, для M1-переходов  $7/2^+ \rightarrow 5/2^+$  в ядрах  $^{147}\text{Eu}$ ,  $^{149}\text{Eu}$  и  $^{151}\text{Eu}$ , запрещенных по орбитальному квантовому числу  $\ell$ , факторы задержки относительно оценок по Мошковскому (с учетом статистического множителя  $S$ ) значительно меньше для этих ядер, чем для ядер  $^{137}\text{La}$ ,  $^{139}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Pr}$  и  $^{143}\text{Pr}$ . С другой стороны, наблюдается увеличение приведенных вероятностей для E2-переходов вида  $g\ 7/2 \rightarrow d\ 5/2$  от  $^{147}\text{Eu}$  к  $^{153}\text{Eu}$  (см. табл. 4). Это указывает на то, что по мере добавления пар нейтронов в изотопах европия происходит постепенная "коллективизация" уровней.

### 3.5. Схема возбужденных уровней $^{149}\text{Sm}$

При исследовании гамма-спектра  $^{149}\text{Gd}$  наблюдались гамма-пики, обязанные распаду  $^{149}\text{Eu}$ , получаемого как дочерний продукт распада  $^{149}\text{Gd}$ . Исследование излучения  $^{149}\text{Eu}$  в генетической связи с  $^{149}\text{Gd}$  позволило нам определить абсолютное число гамма-квантов на один распад  $^{149}\text{Eu}$ , т.е., зная число гамма-квантов 200 кэв, равное  $\approx 27\%$  на один распад  $^{149}\text{Gd}$ , мы определили число гамма-квантов 327 кэв на один распад  $^{149}\text{Eu}$ , равное 3,7%. Как было сказано выше, измерение гамма-спектра  $^{149}\text{Gd} + ^{149}\text{Eu}$  производилось 46 дней спустя после химического разделения тербиевой фракции в Дубне. Это позволило нам проследить количественно накопление  $^{149}\text{Gd}$  и  $^{149}\text{Eu}$  при распаде  $^{149}\text{Tb}$ .

Из экспериментальных данных об относительных интенсивностях L- и M-линий конверсионных электронов в работе <sup>/48/</sup> была определена доля перехода 22,5 кэв на один распад  $^{149}\text{Eu}$ . Интенсивность перехода 22,5 кэв оценена равной 47% на один распад  $^{149}\text{Eu}$ .

На схеме распада  $^{149}\text{Eu} \rightarrow ^{149}\text{Sm}$  (рис. 8) приведены значения  $\lg I\gamma$  и доли электронного захвата на возбужденные уровни  $^{149}\text{Sm}$ . При расчете значений  $\lg I\gamma$  принималось, что разность масс  $^{149}\text{Eu} - ^{149}\text{Sm}$  равна 786 кэв <sup>/53/</sup>.

Схема возбужденных уровней  $^{149}\text{Sm}$  предложена ранее авторами многих работ. Следует отметить тот факт, что при распаде  $^{149}\text{Pm}$  возбуждаются совершенно другие уровни  $^{149}\text{Sm}$ . В работах <sup>/30,54/</sup> (по кулоновскому возбуждению уровней  $^{149}\text{Sm}$ ) также не наблюдалось характерных уровней, возникающих при распаде  $^{149}\text{Eu}$ . Авторы работы <sup>/30/</sup> обнаружили уровень с энергией  $650 \pm 20$  кэв. Эти факты, по всей вероятности, можно объяснить двумя причинами: во-первых, разной деформацией ядер  $^{149}\text{Eu}$  и  $^{149}\text{Pm}$ , во-вторых, разными спиновыми состояниями  $^{149}\text{Eu}$  ( $5/2^+$ ) и  $^{149}\text{Pm}$  ( $7/2^+$ ) <sup>/55,56/</sup>. Тогда можно ожидать, что при распаде  $^{149}\text{Pm}$  будут возбуждаться уровни с более высокими спинами, чем при распаде  $^{149}\text{Eu}$ . Возможные значения квантовых характеристик, которые можно приписать уровням  $^{149}\text{Sm}$ , возбуждаемым при электронном захвате в  $^{149}\text{Eu}$ , приведены на схеме распада  $^{149}\text{Eu} \rightarrow ^{149}\text{Sm}$ .

Однако авторами работы <sup>/31/</sup> при исследовании угловых корреляций для каскадных гамма-переходов возбуждаемым уровням  $^{149}\text{Sm}$ , возникающим при распаде  $^{149}\text{Eu}$ , приписаны следующие квантовые характеристики: уровню 22,5 кэв -  $7/2^-$ , 277,2 кэв -  $9/2^-$ , 350,2 кэв -  $9/2^-$ , 528,6 кэв -

( $11/2^-$ ,  $7/2^-$ ) и 558,3 кэв -  $7/2^-$ . Интересно отметить, что нижние уровни  $^{149}_{62}\text{Gd}_{88}$  более "коллективизированы", чем уровни  $^{149}_{62}\text{Sm}_{87}$ , хотя число нейтронов у ядра  $^{149}\text{Gd}$  меньше, чем у  $^{149}\text{Sm}$ .

В заключение один из авторов (В.В.Кузнецов) приносит искреннюю благодарность профессору Оге Бору за гостеприимство и предоставленную возможность проведения экспериментов в Институте им. Нильса Бора. Авторы выражают также благодарность коллективу радио-химической группы Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ за работы по приготовлению источников тербия и гадолиния, Д.А. Енчеву, Ма Хо Ик, Хань Шу-жуню и А.В. Кудрявцевой за участие в измерениях и обработке результатов на отдельных этапах работы.

### Л и т е р а т у р а

1. J.O. Rasmussen, S.G. Thomson, A. Chiorso. Phys. Rev., 89, 33 (1953).
2. Rollier, J.O. Jr. Rasmussen. Rend. Acad. nahl. Lindcei, 14, 526 (1953).
3. R.S. Toth, J.O. Rasmussen, J. Inorg. Nucl. Chem, 10, 198 (1958).
4. R.S. Toth, S. Björnholm, M. Jørgensen, O.V. Nielsen, O. Skilbreid. Phys. Rev., 116, 118 (1959).
5. Ж.Т. Желев, А.В. Кудрявцева, Б.С. Джелепов. Материалы X совещания по ядерной спектроскопии, М., 1960.
6. Б.С. Джелепов, Ж.Т. Желев, А.В. Кудрявцева, О.В. Ларионов, М.К. Никитин, Р. Степич. Препринт ОИЯИ, Р-587, Дубна, 1960.
7. Н.А.Бонч-Осмоловская, Б.С. Джелепов, О.Е. Крафт, Чжоу Юе-ва. Изв. АН СССР, сер.физ., 25, 826 (1961).
8. А.Т. Стригачев, Л.С. Новикова, А.А. Сорокин, В.А. Халкин, Н.В. Цветкова и В.С. Шпинель. Изв. АН СССР, сер.физ., 25, 813 (1961).
9. К.Я. Громов, И. Махунка, М. Махунка, Т. Фенеш. Изв. АН СССР, сер.физ., 29, 104 (1965).
10. К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Д.А. Енчев, Ж.Т. Желев, Чао Тао-нань. Программа и тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде, стр. 37, М-Л., 1962.
11. А.С. Данагулян, А.Т. Стригачев, В.С. Шпинель. Программа и тезисы докладов XIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Киеве, стр. 49, М-Л., 1963.
12. R. Hoff, J. Rasmussen, S. Thomson, Phys. Rev., 89, 1068 (1951).
13. V. Shirley, W. Smith, J. Rasmussen, Nucl. Phys., 4, 395 (1957).
14. Н.М. Антоньева, А.А. Башилов, Б.С. Джелепов, Б.К. Преображенский. Изв. АН СССР, сер.физ., 22, 895 (1958).



15. В.К. Адамчук, А.А. Башилов, Б.К. Преображенский. Изв. АН СССР, сер.физ., 22, 919 (1958).
16. Н.М. Антоньева, А.А. Башилов, Б.С. Джелепов, Б.К. Преображенский. Изв. АН СССР, сер.физ., 22, 906 (1958).
17. Б.С. Джелепов, В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР, сер.физ., 23, 211 (1959).
18. Б.С. Джелепов, Б.К. Преображенский, В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР, сер. физ., 23, 219 (1959).
19. Б.С. Джелепов, А.И. Феоктистов. Материалы III совещания по нейтронодефицитным изотопам. Препринт ОИЯИ, 712, Дубна, 1960 (т. I).
20. А.А. Сорокин, К.П. Митрофанов. Материалы III совещания по нейтронодефицитным изотопам. Препринт ОИЯИ, 712, Дубна, 1960 (т. II).
21. Э.Е. Берлович, В.Н. Клементьев, Л.В. Краснов, М.К. Никитин, И. Юрси́к. Доклады АН СССР, 133, 789 (1960); Nucl. Phys., 23, 481 (1961).
22. Э.Е. Берлович, О.В. Ларионов, Э.Н. Туниманова, Д.М. Хай. Изв. АН СССР, сер.физ., 25, 90 (1961).
23. Э.Е. Берлович, В.Н. Клементьев, Л.В. Краснов, М.К. Никитин. Изв. АН СССР, сер.физ., 25, 212 (1961).
24. Ван Фу-цзюнь, И. Визи, К. Громов, Б. Джелепов, Ж. Желев, А. Кудрявцева, Ю. Язвицкий. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, 114 (1962).
25. R. Mack, J. Neuer, M. Pool. Phys. Rev., 91, 497 (1953).
26. Н.Антоньева, А. Башилов, Б. Джелепов, В. Ильин, Б. Преображенский. Изв. АН СССР, сер. физ., 23, 204 (1959).
27. H.J. Prask, J.J. Reidy, E.C. Funk, J.M. Mihelich. Nucl. Phys., 36, 441 (1962).
28. B. Harnatz, T. Handley and J. Mihelich. Phys. Rev., 123, 1758 (1961).
29. O.K. Harling. Phys. Rev., 124, 1907 (1961).
30. O. Nathan, V. Popov. Nucl. Phys., 21, 631 (1960).
31. O.K. Harling, C.A. Ventrice, J.J. Pinjian. Phys. Rev., 132, 807 (1963).
32. К. Вильский, В.В. Кузнецов, О.Б. Нильсен, О. Скилбрайт. Материалы VIII совещания по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов, изомерии ядер и теории ядра. Препринт ОИЯИ, 2412, 45 (1965).
33. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, Н.А. Лебедев, В.О. Сергеев, В.Е. Тер-Нерсисянц. Препринт ОИЯИ, Дубна, 2273, 1965.
34. R.A. Kenefick and R.K. Shelton. Phys. Rev., 139, N= 6B, B 1479 (1965).
35. I.R. Williams, K.S. Toth and T.H. Handley. Nucl. Phys., 84, 609 (1966).
36. J.M. Jaklevic, E.C. Funk and J.W. Mihelich. Nucl. Phys., 84, 618 (1966).
37. O.B. Nielsen, O. Kofoed-Hansen. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 29, N=6 (1955).
38. К.Я. Громов, Д.А. Еячев, Ж.Т. Желев, И. Звольский, В.Г. Калинин, В.В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музиоль, Хань Шу-жунь. Ядерная физика, 1, 562 (1965).

39. Б.К. Преображенский, А.В. Калямин, О.М. Лилова. ЖЭТФ, 2, 1164 (1957).
40. K.O. Nielsen, O. Skilbreid. Nucl. Instr., 2, 15 (1958).
41. Гамма-лучи, под редакц. Л.А. Слив, М-Л, 318 (1961).
42. V.G. Chubin, K.Ya. Gromov, B. Makhmudov, Zh. T. Zhelev. Препринт ОИЯИ, Е-2721, Дубна, 1966.
43. Н.А. Головков, К.Я. Громов, Н.А. Лебедев, Б. Махмудов, А.С. Руднев, В.Г. Чумин. Материалы IX совещания по ядерной спектроскопии нейтрондефицитных изотопов, изомерии ядер и теории ядра. Препринт ОИЯИ, 6-3036, Дубна, 1966.
44. Ж. Желев, Г. Музволь. Препринт ОИЯИ, Р-2314, Дубна, 1965.
45. J.F. McNulty, E.C. Funk, Jr. and J.W. Mihelich. Nucl. Phys., 55, 657 (1964).
46. Ж.Т. Желев. Диссертация, Дубна, 1964.
47. C.V.K. Baba, C.T. Ewan, J.F. Suarez. Phys.Nucl., 43, 264 (1963).
48. C.V.K. Baba, C.T. Ewan and J.F. Suarez. Nucl. Phys., 43, 285 (1963).
49. К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В. Звольска, В.Г. Калинин. Ядерная физика, 2, 783 (1965).
50. E. Eichtler. Rev. Modern Phys., 36, 809 (1964).
51. Г.Ф. Драницына. Препринт ОИЯИ, 959, Дубна, 1962, стр. 88.
52. Э.Е. Берлович. Изв. АН СССР, 29, № 12, 2176 (1965).
53. W.D. Myers and W.J. Swiatecki. Nuclear Masses and deformations University of California Lawrence Radiation Laboratory Berkeley, California May, 27 (1965).
54. N.P. Heydenberg, G.M. Temmer. Phys. Rev., 100, 150 (1955).
55. A.Cabezas, I. Lindgren, R. Marrus and M. Rubinstein. Bull. Am. Phys. Soc., 5, 504 (1960).
56. Б.С. Дзелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. М-Л, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 января 1967 г.

Т а б л и ц а 1

Относительные интенсивности линий конверсионных электронов и  
величины К/Л переходов 164,5 и 187,3 кэВ <sup>140</sup>La

E перех. (кэВ)	I <sub>K</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>M</sub>	К/Л эксл.		К/Л теор.		Мультипольность
				EI	EII	E1	E2	
164,5	1000	227 ± 11	66 ± 7	4,4 ± 0,3	6,8	2,36	6,9	E2 + (45 ± 7) % M1
187,5	91 ± 9	28 ± 3	8 ± 3	3,08 ± 0,44	7,1	2,92	6,9	E2 + M1

Т а б л и ц а 2

Энергии и относительные интенсивности конверсионных электронов и гамма-лучей  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ , значения экспериментальных и теоретических коэффициентов внутренней конверсии и выводы о мультипольностях переходов при распаде  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$

№ П/П	Наши данные			Данные работы /11/				$\alpha_k$ теор. $\times 10^3$			Мультипольность
	Е перех. (кэв)	$I_\gamma$	$I_k$	Е перех. (кэв)	$I_k$	$\alpha_k$ эксл. $\times 10^3$	$\alpha_k$ эксл. $\times 10^3$	ЕI	Е2	MI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$^{149}\text{Tb}$											
I.	73	$17 \pm 6$									
2.	85	$4 \pm 2$									
3.	102	$78 \pm 13$									
4.	$149,9^a)$	$1460 \pm 150$	$3210 \pm 160$				$490^b)$	77	360	490	MI б)
5.	164,5	1000	1200	165,5	1200	$304 \pm 70$	$267 \pm 54$	64	285	440	MI + E2
6.	187,3	$132 \pm 33$	$109 \pm 11$	187,3	70	210 в)	$184 \pm 46$	48	210	300	E2
7.	230	$52 \pm 6$									
8.	352	$882 \pm 140$	$100 \pm 20$	351,8	100	$28,8 \pm 5,0$		9,5	30	52	E2
9.	389	$502 \pm 70$	$80 \pm 16$	387,9	80	$40,5 \pm 10,0$		7,2	22	40	MI
10.	465	$252 \pm 35$	$16 \pm 4$	463,8	15	$16,1 \pm 4,0$		4,7	13,7	26	E2, E2+MI
11.	511 <sup>р)</sup>	$278 \pm 42$									
12.	548	$16 \pm 6$									



I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6.	I002		$9 \pm 3$								
7.	II52		$30 \pm 6$								
8.	I447		$14 \pm 5$								
9.	I5I6		$\sim 7$								
10.	I640		слаб.								
11.	I790		слаб.								

- ПРИМЕЧАНИЕ:** а) Наблюдаемые конверсионные электроны и гамма-лучи относятся к  $^{149}\text{Gd}$ , накопившемуся при распаде  $^{149}\text{Tb}$ .
- б) Мультипольность перехода  $149,9$  кэв при распаде  $^{149}\text{Gd}$  типа M1, согласно работе/33/.
- в) Мультипольность перехода  $187,3$  кэв при распаде  $^{149}\text{Tb}$  типа E2, согласно работе/11/.
- г) Гамма-лучи, обозначенные аннгиляцией позитронов при распаде  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{180}\text{Tb}$ , соответственно.
- д) Гамма-лучи относятся к  $^{149}\text{Eu}$  накопившемуся при распаде  $^{149}\text{Tb}$ .
- е) Мультипольность перехода  $639$  кэв при распаде  $^{180}\text{Tb}$  - типа E2.

x/Значения коэффициентов внутренней конверсии определялись нормированием относительно КВК для перехода  $187,3$  кэв - типа E2 ( $a_k = 0,210$ ).

xx/Значения коэффициентов внутренней конверсии определялись нормированием относительно КВК для перехода  $149,9$  кэв - типа M1 ( $a_k = 0,490$ ).

Т а б л и ц а 3

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей  $^{140}\text{Gd}$  и  $^{140}\text{Eu}$ , экспериментальные коэффициенты внутренней конверсии и мультипольности переходов при распаде  $^{140}\text{Gd}$  и  $^{140}\text{Eu}$

№Эксп.	Наши результаты		Результаты раб. /36/		Результаты раб. /57/			$\alpha_k \times 10^8$ эксп.	Мультипольность
	$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$	$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$	$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$	$I_k$		
ПП	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$^{140}\text{Gd}$									
I	-	-	-	-	119,5	-	0,43±0,09	265 ± 85	EI + M2
2	120,0	8 ± 2	-	-	119,8	-	0,9 ± 0,2		
3	126,0	6 ± 2	-	-	125,96	-	1,15±0,20		
4	-	-	-	-	130,8	-	0,40±0,12	-	
5	-	-	-	-	132,1	-	1,50±0,08	-	
6	-	-	-	-	138,2	-	0,8 ± 0,2	-	
7	142,0	18 ± 7	-	-	143,0	-	0,71±0,08	63 ± 30	EI
8	149,9	2120±318	150,0	1855±188	149,8	1990±199	550 ± 26	415 ± 83	MI, (MI + E2)
9	-	-	-	-	178,5	-	~ 0,3	-	
10	191,0	8 ± 2	-	-	-	-	-	-	
11	197,0	6 ± 3	-	-	-	-	-	-	
12	215,0	5 ± 1	216,0	15 ± 8	216,7	-	-	-	
13	244,0	11 ± 3	-	-	-	-	-	-	

Продолжение табл. 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	-	-	-	-	252,4		0,30±0,05	-	
15	262,0	45 ± 12	262,0	66 ± 7	260,8		0,24±0,03 <sup>ж</sup> )	8,5 ± 3,2	EI
16	272,0	119 ± 18	272,0	152 ± 19	272,6	102 ± II	7,4 ± 0,7	99 ± 25	EI + (≤28%)M2 MI, (MI + E2)
17	299,0	1000	298,5	1000	298,8	1000	43 ± 4	69 ± 17	EI + (≤25%) M2 MI, (MI + E2)
18	340,0	16 ± 8	-	-	-	-	-	-	
19	346,0	800 ± I20	347,0	942 ± 94	346,9	960 ± 54	100	200 ± 30	M2
20	461,0	28 ± 8	461 ± I	22 ± 3	460,1	34 ± 9	0,38±0,07	21,6±9,0	EI + (≤35%)M2 MI, MI + E2
21	-	-	480 ± I	3,8 ± I,0	-	-	-	-	
22	498,0	55 ± 16	497,0	68 ± 7	496,6	69 ± 7	1,0 ± 0,1	29,0 <sup>жж</sup>	E3
23	517,0	79 ± 18	517,0	101 ± 10	516,8	114 ± II	0,8 ± 0,1	16,2 ± 5,1	EI + (≤32%) M2 MI, MI + E2
24	535,0	95 ± 15	534,0	118 ± 12	534,5	114 ± II	1,1 ± 0,1	18,5±4,5	EI + (≤40%) M2 MI, MI+(≤40%) E2
25	646,0	44 ± II	646,5	66 ± 7	645,2	80 ± 20	0,10±0,03	3,6 ± 2,0	EI, EI + (≤11%)M2
26	667,0	27 ± 6	666,5	57 ± 6	666,5	-	~ 0,1	~ 5,9	E2, EI + M2
27	750,0	265±39	749,5	348 ± 38	749,1	272 ± 72	0,33±0,07	2,0 ± 0,5	EI, EI + (≤5%)M2
28	790,0	224±33	790,5	328 ± 38	789,0	-	0,45±0,09	3,2 ± I,1	EI + (≤18) M2 E2 + (≤22%)MI

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	-	-	813 ± I	6,6 ± I,0	-	-	-	-	
30	865,0	~ 2	865 ± I	2,8 ± 0,5	-	-	-	-	
31	880,0	5 ± 2	878 ± I	6,6 ± I,0	875,6	33 ± I6	0,02±0,0I	-	
32	933,0	26 ± 6	934 ± I	26 ± 3	-	-	-		
33	940,0	64 ± I0	939,0	114 ± I9	938,8	83 ± 9	0,17±0,03	4,3 ± I,3	EI + M2, E3 MI
34	948,0	25 ± 6	949,0	45 ± 5	947,7	40 ± 6	0,018±0,005	I,15±0,42	EI, EI + (≤ 6%)M2
35	-	-	993 ± I	I4 ± 2					
36	-	-	1013 ± I	I2 ± I					
37	-	-	1081 ± I	7,5 ± I,0	1081,3	40 ± 20			

140 F.u

	/35/			/46/					
I	255	59 ± 15	255	33,0 ± 0,6	255,0	-	25 ± 6	105 ± 52	MI, (MI + E2)
2	277	275 ± 42	277	275	278,0	-	100	90 <del>± 10</del>	MI
3	327	298 ± 45	328	325 ± 28	329,0	-	80 ± 8	71 ± 18	MI
4	-	-	350	25 ± 8	350,0	-	4,1 ± I,0		
5	506	86 ± 9	506	39 ± 4	507,0	-	2,3 ± 0,5	15,9 ± 7,2	MI



Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	528	$38 \pm 9$	529	$36 \pm 4$	529,0	-	$1,7 \pm 0,4$	$11,2 \pm 5,6$	E2 + MI
7	536	$6 \pm 3$			536,0	-	0,2	$\sim 8,30$	E2, E2 + MI
					558,3	-	0,24		

x/ Значение интенсивности линии K 262, по-видимому, занижено.

xx/ Значения КВК определялись нормированием относительно коэффициента внутренней конверсии перехода 488 кэв - типа E3 ( $\alpha_k = 0,029$ ).

xxx/ Значения КВК определялись нормированием относительно коэффициента внутренней конверсии перехода 277 кэв - типа M1 ( $\alpha_k = 0,090$ ).

Таблица 4

Экспериментальные и рассчитанные по Мошковскому (см. 41) отношения  
 приведенных вероятностей переходов с уровней ядер  $^{147}\text{Eu}$ ,  $^{149}\text{Eu}$ ,  $^{151}\text{Eu}$ ,  
 $^{153}\text{Eu}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{149}\text{Gd}$

Ядро	Энергия уровня (кэВ)	Энергия перехода (кэВ)	Тип перехода	J <sub>i</sub>		Отношение приведен. ве- роятност.		Фактор ускорения F <sub>уск.</sub> относ.
				1 <sub>i</sub>	1 <sub>f</sub>	эксп.	по Мошк.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	149,9	149,9	98,2% M1	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			0,0083
			1,8% E2	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			37
$^{147}_{63}\text{Eu}$ 84	229	229	99% M1	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			0,0073
			1% E2	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			6,4
$^{151}_{63}\text{Eu}$ 88	21,6	21,6	M1	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			0,062
$^{153}_{63}\text{Eu}$ 90	83	83	60% M1	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			0,0037
			40% E2	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>			2900
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	497	346	M2	11/2 <sup>-</sup>	7/2 <sup>+</sup>			0,015
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	497	497	E3	11/2 <sup>-</sup>	5/2 <sup>+</sup>			1,8
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	940	272	M1	7/2 <sup>+</sup>	9/2 <sup>+</sup>	77,0	1,25	61,5
		940	M1	7/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>	1,0	1,0	1,0
$^{149}_{64}\text{Gd}$ 85	352	187	E2	3/2 <sup>-</sup>	5/2 <sup>-</sup>	3,4	0,16	21,4
		352	E2	3/2 <sup>-</sup>	7/2 <sup>-</sup>	1,0	1,0	1,0
$^{149}_{64}\text{Gd}$ 85	817	465	E2	3/2 <sup>-</sup>	3/2 <sup>-</sup>	14,4	0,39	37
		652	E2	3/2 <sup>-</sup>	5/2 <sup>-</sup>	6,2	0,71	36
		817	E2	3/2 <sup>-</sup>	7/2 <sup>-</sup>	1,0	1,0	1,0
$^{147}_{62}\text{Sm}$ 85	121	121	90% M1	5/2 <sup>-</sup>	7/2 <sup>-</sup>			0,0047
			10% E2	5/2 <sup>-</sup>	7/2 <sup>-</sup>			172

I	2	3	4	5	6	7	8	9
$^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$	198	76	20 % E2	$3/2^-$	$5/2^-$	1,2I	0,172	52 (7,0)
		198	E2	$3/2^-$	$7/2^-$	1,0	1,0	7,4 (1,0)
$^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$	800	680	25%E2	$3/2^-$	$5/2^-$	9,9	0,177	≤ 56
		800	E2	$3/2^-$	$7/2^-$	1,0	1,0	1,0

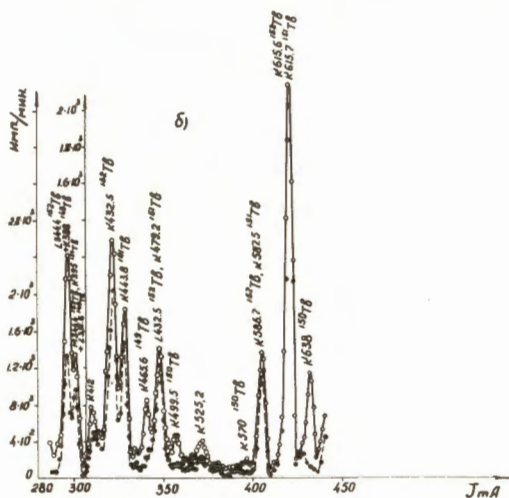
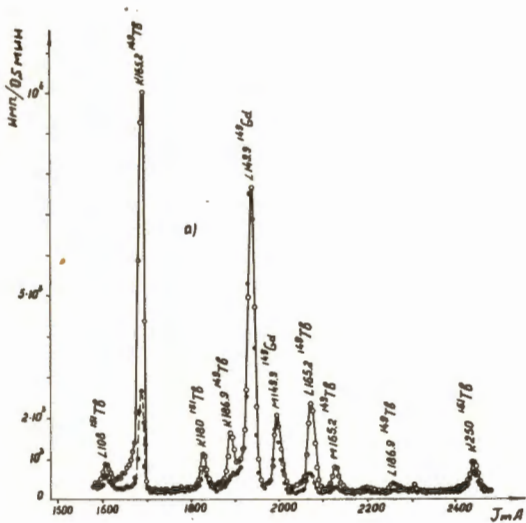


Рис. 1. Спектры конверсионных электронов: а) участок спектра  $^{149}\text{Tb}$ , полученного с помощью масс-сепаратора и измеренного на торидальном шестизанорном  $\beta$ -спектрометре; б) участок спектра тербиевой фракции, содержащей в себе короткоживущие изотопы  $^{149}\text{Tb}$  и  $^{150}\text{Tb}$ . Этот спектр измерен на  $\beta$ -спектрометре с трехкратной фокусировкой пучка электронов.

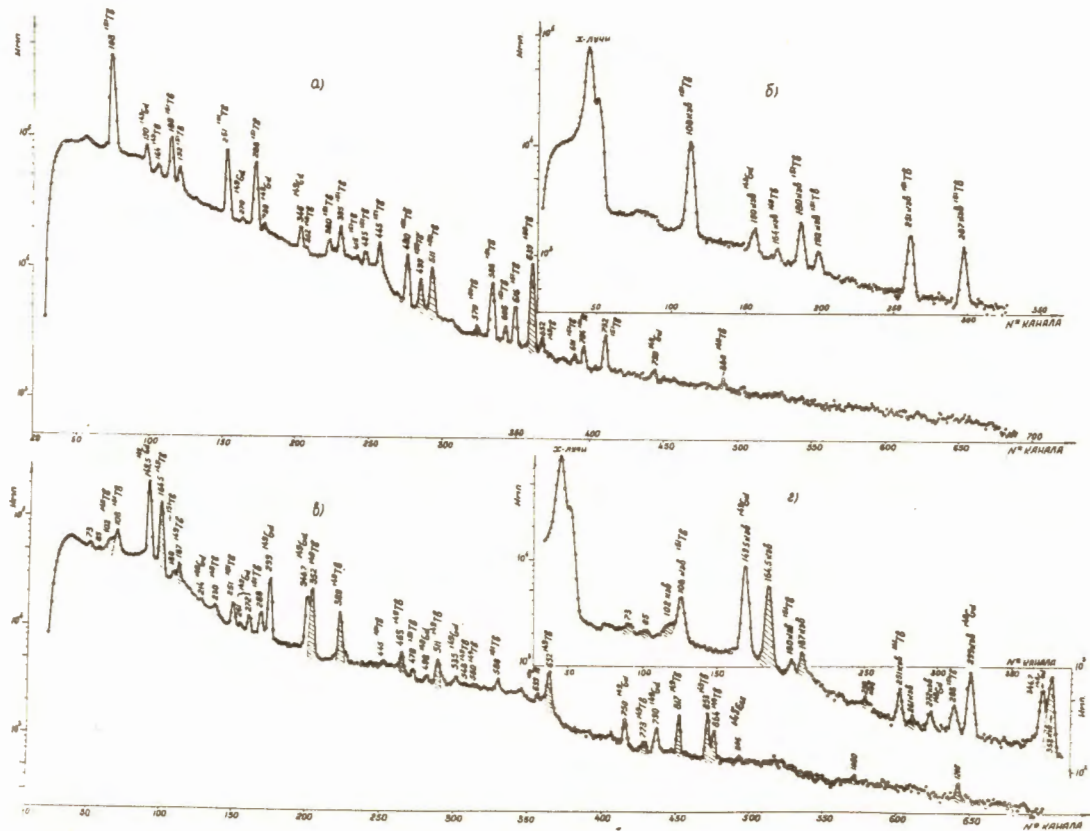


Рис. 2. Гамма-спектры  $^{149}\text{Tl}$  и  $^{180}\text{Tl}$ , измеренные с помощью  $\text{Ge}(\text{Li})$  полупроводникового детектора с размерами  $0,7 \text{ см}^2 \times 0,35 \text{ см}$  и 1024-канального амплитудного анализатора: а) и б) спектр  $^{180}\text{Tl}$  с наблюдаемой примесью  $^{151}\text{Tl}$  и  $^{149}\text{Cd}$ ; в) и г) спектр  $^{149}\text{Tl}$  с наблюдаемой примесью дочернего  $^{149}\text{Cd}$  и  $^{151}\text{Tl}$ .

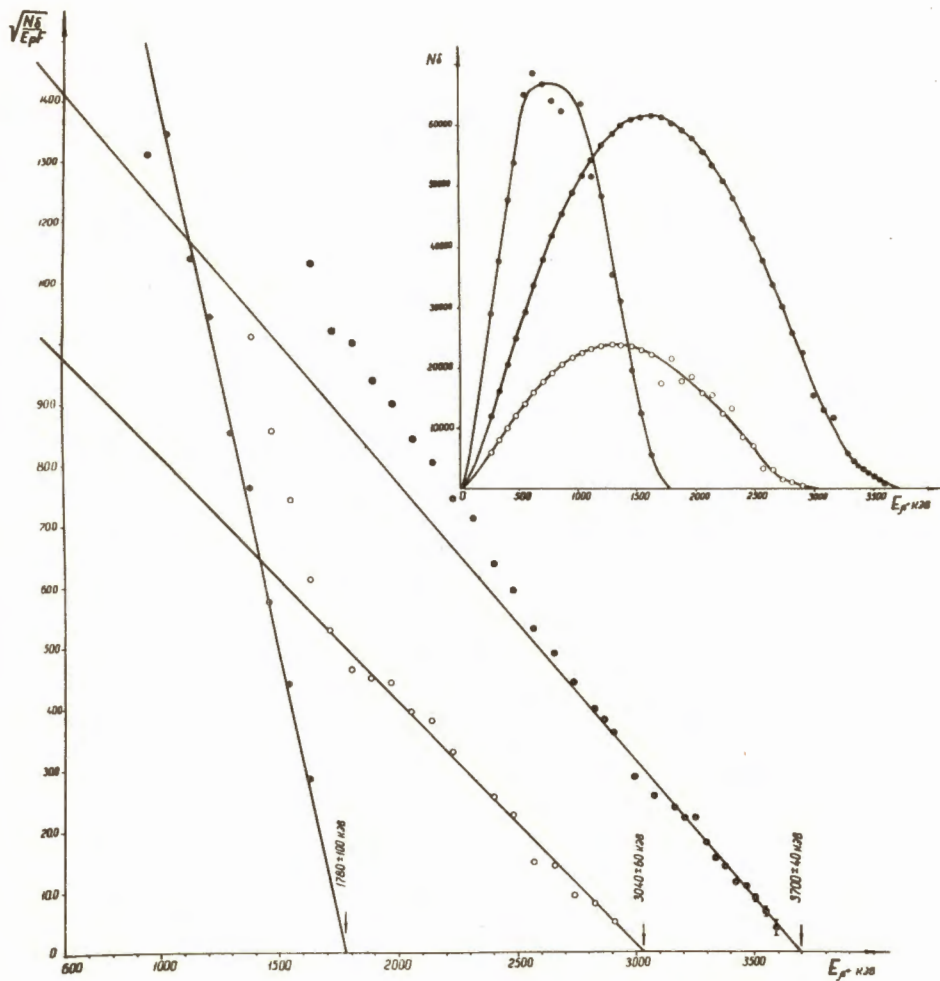


Рис. 3. График Кюри и спектры позитронов  $^{149}\text{Tl} + ^{180}\text{Tl}$ .

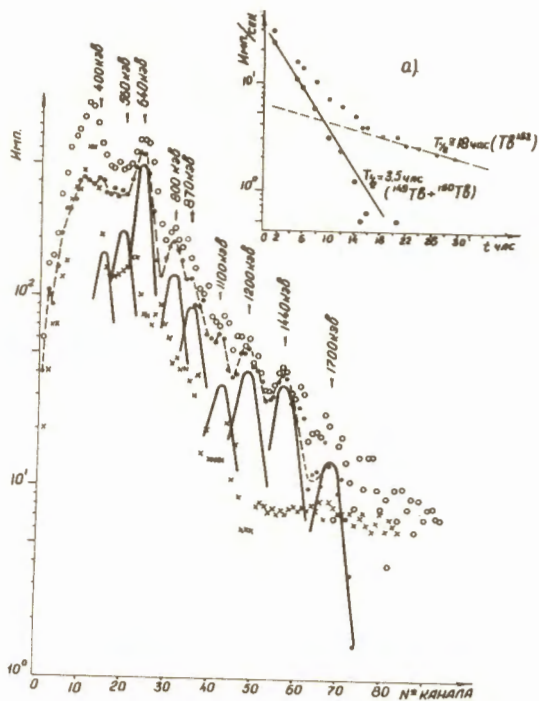


Рис. 4. Спектр тройных совпадений гамма-лучей в тербиевой фракции:  $\circ$  — спектр, измеренный 1 час спустя после хроматографического разделения редкоземельных элементов.  $\times$  — спектр, измеренный спустя 30 часов;  $\bullet$  — спектр  $\beta^+$ -у-совпадений  $^{149}\text{Tb} + ^{160}\text{Tb}$ , а) кривые спада интенсивности позитронов в тербиевой фракции.

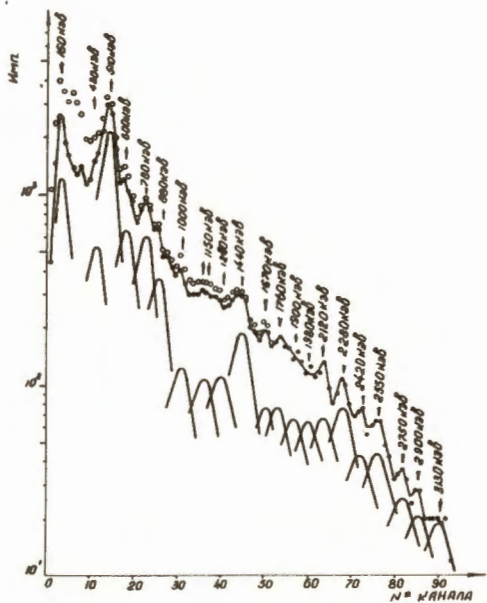


Рис. 5. Спектр совпадений с гамма-лучами 640 кэв в тербиевой фракции:  
 ○ —спектр, измеренный спустя 1 час после хроматографического разделения редкоземельных элементов ( $\sim 4$  часа после конца облучения тантала); ● —спектр, полученный как разность спектров, измеренных спустя 1 час и 30 час после хроматографического разделения.



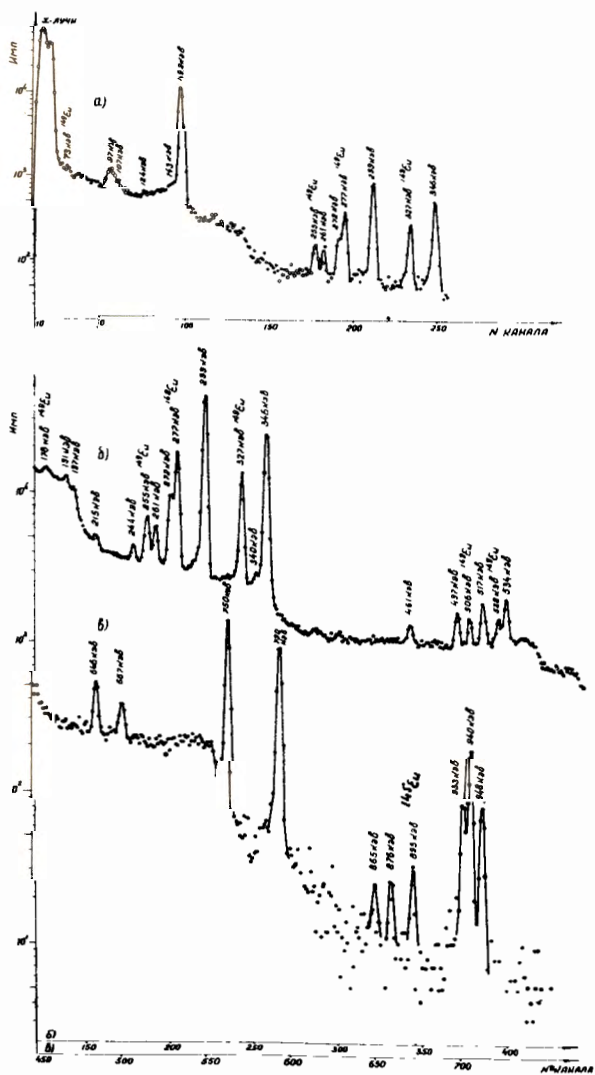


Рис. 6. Спектр гамма-лучей  $^{149}\text{Gd}$  +  $^{149}\text{Eu}$ : а) спектр, измеренный в области энергий до 350 кэв; б) и в) спектр, измеренный в области энергий 160 – 1000 кэв. Спектры измерены с помощью плоскопараллельного  $\text{Ge}(\text{Li})$  полупроводникового детектора с размерами  $0,7 \text{ см}^2 \times 0,35 \text{ см}$ .

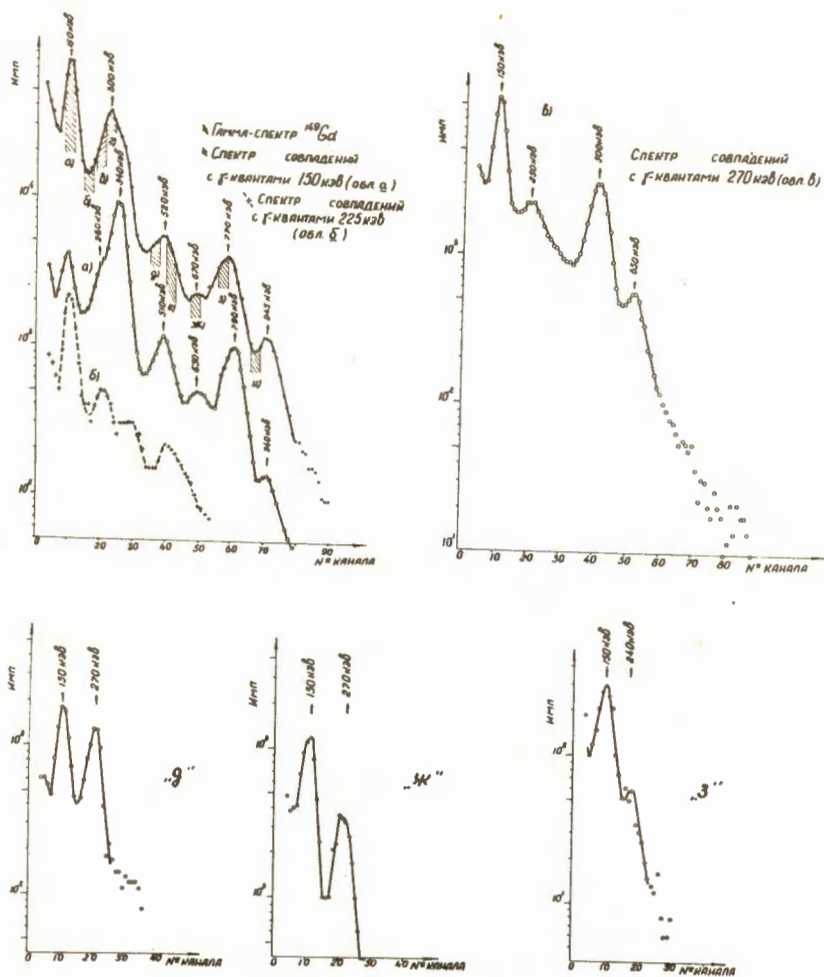


Рис. 7. Спектры совпадений с  $\gamma$ -лучами 150 кэВ (обл. "а"), 270 кэВ (обл. "в"), 515 кэВ (обл. "д"), 680 кэВ (обл. "ж") и 750 кэВ (обл. "з").

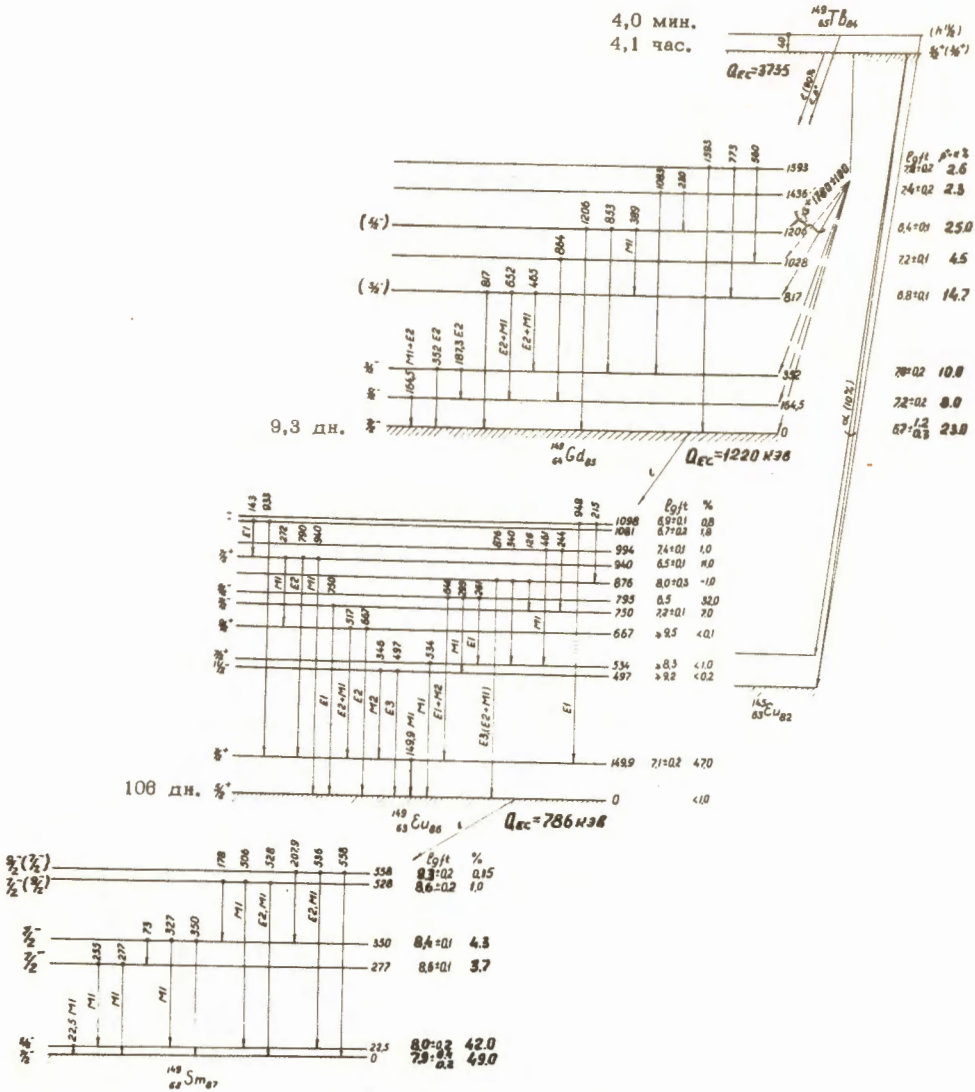


Рис. 8. Схемы возбужденных уровней <sup>149</sup>Gd, <sup>149</sup>Eu и <sup>149</sup>Sm.

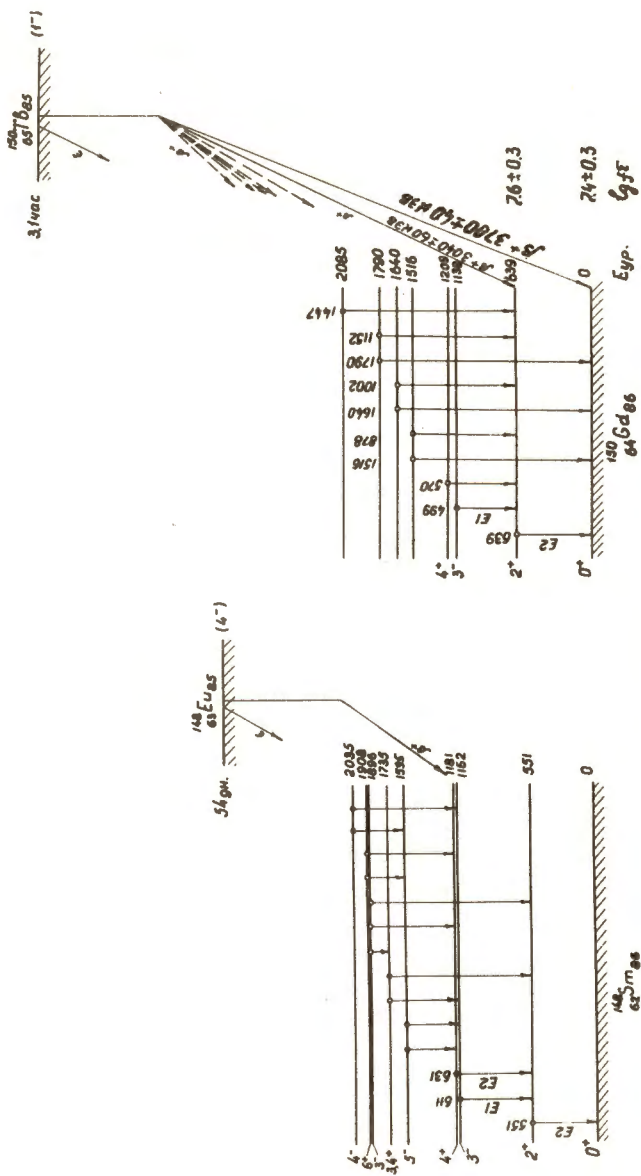


Рис. 8. Сравнение схем уровней 150 см и 148 см.