

СЗ41-18

Д-405

3/III-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2161



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Б. Дзелепов, Ж. Желев, В. Калинин, А. Кудрявцева,  
Н. Лебедев, Ю. Мареев, Ю. Язвический

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА  $Eu^{147}$

1965

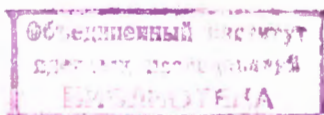
P-2161

Б.Джелепов, Ж.Желев, В.Калинников, А.Кудрявцева,  
Н.Лебедев, Ю.Мареев, Ю.Язвницкий

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА  $E_{\alpha}^{147}$  х)

---

х) Основные результаты работы были доложены авторами на VII совещании по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов и теории ядра, Дубна, июнь 1964 г. См. также Ж.Т.Желев, Диссертация ОИЯИ, 1964 г. (Автореферат - Препринт ОИЯИ 1862, Дубна, 1964).



При помощи  $\beta$ -спектрометра с трехкратной фокусировкой и спитилиационного  $\gamma$ -спектрометра с многоканальным анализатором было продолжено исследование распада  $\text{Eu}^{147}$ .  $\text{Eu}^{147}$  был получен облучением  $\text{Ta}$  на синхротроне в Дубне протонами с энергией 880 Мэв. Препараты были получены путем выделения европия из гадолиния, предварительно хроматографически отделенного от других редких земель, возникающих в танталовой мишени. Таким методом нам удалось получить почти чистый препарат  $\text{Eu}^{147}$  с небольшими примесями  $\text{Eu}^{149}$  ( $T_{1/2} = 106$  дн). В этом препарате сначала присутствовал и  $\text{Eu}^{146}$  ( $T_{1/2} = 4,8$  дн), но при месячной выдержке он почти полностью распадается. Присутствие  $\text{Eu}^{149}$  практически не мешало нашим исследованиям, так как, во-первых, его схема распада довольно хорошо изучена и, во-вторых, энергия распада  $\text{Eu}^{149} - \text{Sm}^{149}$  невелика. По данным Камерона<sup>/1/</sup>, Леви<sup>/2/</sup> и Дранцовой<sup>/3/</sup> разность масс  $\text{Eu}^{149} - \text{Sm}^{149}$  равна 451, 718 и 318 кэв соответственно. Самые жесткие  $\gamma$ -лучи, возникающие при распаде  $\text{Eu}^{149}$ , имеют энергию 558,3 кэв<sup>/4/</sup>.

Распад  $\text{Eu}^{147}$  изучался в работах<sup>/5-25/</sup>. Первые сведения о существовании  $\text{Eu}^{147}$  с периодом полураспада  $24 \pm 2$  дня были получены Хоффом и др.<sup>/5/</sup>. Активность была получена при облучении окиси самария, обогащенной изотопом  $\text{Sm}^{147}$ , протонами с энергией 8,5 Мэв. Авторы<sup>/5/</sup> обнаружили электроны с энергией 200 кэв и  $\alpha$ -излучение с энергией  $2880 \pm 100$  кэв и определили отношение  $\alpha / \beta \approx 10^{-5}$ .

В большинстве вышеупомянутых работ был частично исследован распад  $\text{Eu}^{147}$ . Так, например, в работе Шарлея и др.<sup>/7/</sup> при изучении распада  $\text{Gd}^{147}$  и  $\text{Gd}^{149}$  был обнаружен ряд конверсионных линий вплоть до энергии 277 кэв, которые были отнесены к  $\text{Eu}^{147}$  и  $\text{Eu}^{149}$ . Городинский и др.<sup>/8/</sup> изучали  $\gamma$ -спектр,  $\gamma$ - $\gamma$  совпадения и совпадения  $\gamma$ -лучей с рентгеновскими лучами, возникающими при распаде  $\text{Eu}^{147}$ . Наблюдались  $\gamma$ -лучи с  $h\nu = 120$  и 200 кэв, которые не идут в каскаде. Определено значение  $\alpha_k$  для этих двух переходов (1,34 и 0,22, соответственно). Было определено, что переход 120 кэв типа M1, а переход 200 кэв - типа E2 и что эти

переходы разряжают первые два возбужденных уровня  $Sm^{147}$  с энергиями 120 и 200 кэв, между которыми, кроме того, происходит переход с энергией 80 кэв.

Более полное исследование спектра конверсионных электронов  $E_{\alpha}^{147}$  было выполнено в работах Антоньевой и др.<sup>/9,10,11/</sup>. Наблюдались конверсионные линии, соответствующие  $\gamma$ -переходам с энергиями 76,5; 121; 197,6; 600; 676; 800; 900; 957 и 1080 кэв. На основе баланса энергий и интенсивностей разработана схема распада  $E_{\alpha}^{147} \rightarrow Sm^{147}$ , в которой предполагается существование возбужденных уровней  $Sm^{147}$  с энергиями 121, 198, 800 и 1080 кэв. При помощи магнитного спектрографа и сцинтилляционного спектрометра Швердфегер и др.<sup>/12,21/</sup> получили такие же результаты. С помощью двойного линзового  $\beta$ -спектрометра Желеповым и др.<sup>/13/</sup> изучались совпадения между конверсионными электронами  $\gamma$ -переходов с энергией 76,3; 121 и 198 кэв, возникающих при распаде  $E_{\alpha}^{147}$ . Было установлено, что переход 76,3 кэв идет в каскаде с переходом 121 кэв и не дает совпадений с переходом 198 кэв. Доказано также, что конверсионные электроны перехода 121 кэв не дают совпадений с конверсионными электронами перехода 198 кэв.

В работах Александрова и др.<sup>/15,25/</sup> проводилось исследование  $\gamma$ -спектра, спектров  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений и угловой анизотропии каскадных  $\gamma$ -переходов 76-120 и 121-676 кэв. Было установлено наличие следующих каскадов  $\gamma$ -переходов: 76-120-600; 120-676 кэв. Изучались также совпадения рентгеновских лучей с мягкими  $\gamma$ -лучами. Эти результаты показали, что состояние с энергией 121 кэв в  $Sm^{147}$  не изомерное, как предполагалось в работе Городинского и др.<sup>/18/</sup>. Действительно, в работе Берловича и др.<sup>/17/</sup> измерен верхний предел среднего времени жизни для уровня 121 кэв;  $\tau \leq 2 \cdot 10^{-10}$  сек.

Результаты Иха и др.<sup>/22/</sup>, полученные с помощью сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра, подтвердили данные Антоньевой и др.<sup>/9,10,11/</sup> и Швердфегера и др.<sup>/12/</sup>. Сорokinым и Митрофановым<sup>/19/</sup> подтверждено методом  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений существование каскадов 121-676; 198-600 кэв и были обнаружены каскады гамма-лучей 121-930 и 198-850 кэв. На основе этих данных авторы<sup>/19/</sup> предположили, что существует новый уровень в  $Sm^{147}$  с энергией 1050 кэв.

Необходимо отметить, что в работе<sup>/19/</sup> не наблюдался известный уровень с энергией 1078 кэв, который разряжается более интенсивными  $\gamma$ -лучами с  $\lambda = 957$  и 800 кэв. Это заставляет думать, что они в действительности наблюдали разрядку с уровня 1078 кэв. В одной из работ Швердфегера и др.<sup>/21/</sup> был введен новый уровень с энергией 1420 кэв, а в работе Сычинова и др.<sup>/23/</sup> - 1500 кэв. В этих двух работах нет достаточных обоснований для введения указанных уровней. Натан и Попов<sup>/26/</sup> методом кулоновского возбуждения обнаружили уровень с энергией  $730 \pm 30$  кэв в ядре  $Sm^{147}$ ,

а Албергоги и др. /33/ подтвердили этим методом существование уровней с энергией 121 и 188 кэв. В работе Швердтфегера и др. /12/ сообщалось, что при распаде  $\text{Eu}^{147}$  возникает позитронное излучение, указывались граничные энергии компонент позитронного спектра: 270 и 150 кэв. Отмечалось, что позитроны мягкой компоненты совпадают во времени с  $\gamma$ -лучами 122 кэв. Из границы позитронного спектра была определена разность масс  $\text{Eu}^{147} - \text{Sm}^{147}$ . Она оказалась равной  $1290 \pm 20$  кэв.

Несмотря на наличие большого экспериментального материала по исследованию распада  $\text{Eu}^{147}$  все же оставались некоторые неясные вопросы:

1. Существовали противоречия в вопросе о наличии  $\gamma$ -перехода с энергией 800 кэв.
2. Данные относительно позитронного распада  $\text{Eu}^{147}$  также были противоречивы.
3. Не были исследованы достаточно полно спектры  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений; это необходимо было сделать, чтобы доказать правдивость предполагаемой схемы распада.
4. Необходимо было выяснить некоторые несоответствия между экспериментальными данными разных работ, относящихся к определению мультипольности переходов и к приписанию спинов возбужденных состояний.

Решение всех перечисленных вопросов помогло бы более полно понять структуру уровней  $\text{Sm}^{147}$ . Это и являлось целью наших исследований.

147

#### А. Исследование спектра конверсионных электронов $\text{Eu}^{147}$

Спектр конверсионных электронов изучался с помощью  $\beta$ -спектрометра с трехкратной фокусировкой с разрешающей способностью 1%. Было проведено много опытов на разных препаратах европиевой фракции, выделенной из танталовой мишени от 10- и 12-часовых облучений. Присутствие  $\text{Eu}^{148}$  в этих препаратах затрудняло в значительной мере изучение распада  $\text{Eu}^{147}$ . Оказалось, что при распаде  $\text{Eu}^{148}$  и  $\text{Eu}^{147}$  возникают слабые переходы с близкими энергиями, которые на нашем приборе не разрешались. Поэтому необходимо было получить эти изотопы в разделенном виде. Нам удалось выделить из фракции гадолиния довольно интенсивный источник европия, в котором отсутствовал  $\text{Eu}^{148}$ .

При исследовании спектра конверсионных электронов в области энергий от 7 до 720 кэв применялась "двойная" счетчиковая камера в режиме двойных совпадений. Чтобы учесть искажение спектра в пленках первого счетчика энергетическая область от 7 до 250 кэв была исследована также при помощи одиночного счетчика. Входная пленка счетчика пропускала электроны с энергией  $> 6$  кэв. Конверсионные электроны с энергией от 720 до 1500 кэв изучались при помощи "тройной" счетчиковой камеры

в режиме тройных совпадений. Измерения были начаты через месяц после облучения, когда  $\text{Eu}^{146}$  полностью распался ( $\text{Eu}^{146}$  с  $T_{1/2} = 4,6$  дн присутствовал в препарате как дочерний продукт  $\text{Gd}^{146}$ ). В спектре конверсионных электронов были видны линии  $\text{Eu}^{149}$  и  $\text{Eu}^{147}$ . Конверсионные линии L, M и N перехода 22,5 кэВ возникают при распаде  $\text{Eu}^{149}$ , остальные линии на рис. 1, 2 и 3 принадлежат  $\text{Eu}^{147}$ . Отнесение обнаруженных переходов к  $\text{Eu}^{147}$  было сделано по убыванию интенсивности счета на максимуме линий. В таблице 1 приведены полученные нами результаты. В этой же таблице для сравнения приводятся данные работ<sup>/9,10,11,12,21,23,24/</sup>. Из таблицы 1 видно, что определенные нами энергии известных ранее переходов в пределах погрешностей измерений хорошо совпадают с данными вышеперечисленных работ. Наблюдается различие в интенсивностях K-конверсионных линий для переходов с  $h\nu = 602$ ; 676 и 800 кэВ. Для K-линий переходов с  $h\nu = 602$  и 676 кэВ различие достигает 30%, а для K800-250%. Нам кажется, что интенсивности в работах<sup>/9,24/</sup> занижены. Это можно объяснить тем, что использованные в этих работах препараты были гораздо слабее, чем наш.

В последующей работе Сычикова и др.<sup>/23/</sup>, где повторно изучался спектр конверсионных электронов  $\text{Eu}^{147}$ , полученные значения интенсивностей K-линий этих переходов хорошо согласуются с нашими данными.

В более ранних работах Антоновой и др.<sup>/10/</sup>, Швердтфегера и др.<sup>/12/</sup> и Визи и др.<sup>/20/</sup> был обнаружен переход с энергией 900 кэВ и приписан  $\text{Eu}^{147}$ . Более детальные исследования этого перехода показали, что он принадлежит другому изотопу европия.

В работе Сычикова и др.<sup>/23/</sup>, в которой подробно изучался этот участок конверсионного спектра, предполагается, что, если существует линия K900, то ее интенсивность составляет всего 5% интенсивности K800. Мы обнаружили слабую электронную линию с энергией 849 кэВ, которую идентифицируем как L-линию перехода 856 кэВ  $\text{Eu}^{147}$ . Ее интенсивность составляет 5% интенсивности K800.

В более поздних работах Антоновой и др.<sup>/11/</sup> и Швердтфегера и др.<sup>/21/</sup> переход с энергией 900 кэВ уже не приписывается  $\text{Eu}^{147}$ . Нами наблюдались 6 новых переходов, возникающих при распаде  $\text{Eu}^{147}$ , с энергиями: 856; 932; 1199; 1256; 1332 и 1454 кэВ и определены интенсивности K-конверсионных линий этих переходов. Эти данные приведены в таблице 1. Нами также впервые определены интенсивности L-линий ряда переходов  $\text{Eu}^{147}$ .

#### Б. Исследование спектра позитронов при распаде $\text{Eu}^{147}$

Энергия распада  $\text{Eu}^{147} - \text{Sm}^{147}$ , рассчитанная по полуэмпирическим формулам в работах Камерона<sup>/1/</sup>, Леви<sup>/2/</sup> и Драницкой<sup>/3/</sup>, равна: 1532, 1549 и 2248 кэВ, соответственно. Это означает, что возможен позитронный распад  $\text{Eu}^{147}$ .

В литературе встречались противоречивые данные относительно испускания позитронов при распаде  $\text{Eu}^{147}$ .

Хофф и др.<sup>/5/</sup> не обнаружили  $\beta^+$ -излучения у  $\text{Eu}^{147}$ . В работе Швердтфегера и др.<sup>/12/</sup> сообщалось, что  $\text{Eu}^{147}$  излучает позитроны. Однако в новой работе Швердтфегера и др.<sup>/21/</sup> отмечается, что обнаруженные в работе<sup>/12/</sup> позитроны следует приписать  $\text{Eu}^{148}$ , который присутствовал в источнике как примесь.

В нашей работе<sup>/20/</sup> был определен верхний предел интенсивности позитронов, возникающих при распаде  $\text{Eu}^{147}$  по отношению к К-конверсионной линии перехода 121 кэв. Он оказался равным 0,21.

В последних опытах нам удалось получить довольно интенсивный препарат  $\text{Eu}^{147}$  и изучить его позитронный спектр. Так как энергия распада  $\text{Eu}^{147} - \text{Sm}^{147}$  не очень велика, то исследование позитронного распада проводилось на "двойной" камере при разрешении 2%. Интенсивность счета на максимуме  $\beta^+$ -спектра составляла 15 имп/мин. Построение графика Кюри (рис. 4) указывает на простой характер  $\beta^+$ -спектра. Граничная энергия позитронов равна  $630 \pm 15$  кэв. Отношение интенсивности позитронов к интенсивности К-конверсионной линии перехода 198 кэв:

$$\frac{s_{\beta^+}}{s_{\text{K}198}} = 0,10 \pm 0,02.$$

Чтобы определить число позитронов на распад необходимо знать, какая доля всех распадов принадлежит переходу с энергией 198 кэв. Используя результаты работы<sup>/8/</sup> и данные об интенсивностях  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов, мы подсчитали число распадов в процентах для перехода с энергией 198 кэв. Оно оказалось равным 31%. Известно, что этот переход имеет мультипольность E2. Имея эти данные, мы подсчитали число позитронов в процентах на один распад. Оно составляет 0,38%. Это дало нам возможность определить  $\lg ft$  для позитронного распада. Полученное значение  $\lg ft = 8,0$  позволяет утверждать, что  $\beta^+$ -распад первого порядка запрещен.

#### В. Исследования спектра $\gamma$ -лучей и спектров $\gamma - \gamma$ совпадений

Исследование спектра  $\gamma$ -лучей и спектров  $\gamma - \gamma$ -совпадений, возникающих при распаде  $\text{Eu}^{147}$ , проводилось при помощи сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра для отбора каскадов. Были применены кристаллы  $\text{NaJ(Tl)}$  размером  $100 \times 100$  мм. Разрешающее время схемы совпадений  $\tau = 2 \cdot 10^{-7}$  сек. Энергетическое разрешение сцинтилляционной головки спектрометрического тракта равно 11,2% на линии  $\text{Cs}^{137}$ , разрешение второй головки составляло 12%. Головки располагались под углом  $180^\circ$ . Между кристаллами была помещена слоистая защита, устраняющая проникновение  $\gamma$ -квантов из кристалла в кристалл.

Препараты были получены аналогичным способом как и при измерении конверсионного спектра. Было использовано два источника. Во втором препарате содержание  $E_{\alpha}^{149}$  было ничтожно мало.

а) Изучение одиночного  $\gamma$ -спектра проводилось через два месяца после разделения. За это время  $E_{\alpha}^{146}$  полностью распался. В таблице 2 приведены полученные нами энергии и относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей, возникающих при распаде  $E_{\alpha}^{147}$ .  $\gamma$ -спектр показан на рис. 5. В таблице 2 приведены также данные других работ /21,22,25/.

В жесткой области спектра нами впервые обнаружены малоинтенсивные  $\gamma$ -лучи с энергиями 1199; 1256; 1332 и 1454 кэв и определены их интенсивности. (Энергии  $\gamma$ -лучей взяты из данных по конверсионным электронам). Слабые гамма-переходы с энергиями 856; 881 и 932 кэв в одиночном спектре четко не наблюдаются из-за недостаточного разрешения  $\gamma$ -спектрометра.

б) Изучались спектры  $\gamma$ -лучей, совпадающих с  $\gamma$ -квантами энергии 121 кэв. Полученные результаты представлены на рис. 6. В спектре совпадений четко выделяются пики с энергиями 676 и 957 кэв и слабые линии с  $h\nu = 1199$  и 1332 кэв; нет совпадений с аннигиляционными  $\gamma$ -квантами 511 кэв (позитронов слишком мало).

На рис. 7 изображен спектр совпадений с гамма-лучами энергии 198 кэв. Видно, что  $\gamma$ -лучи с  $h\nu = 602$ ; (881 + 856) и 1256 кэв идут в каскаде с переходом 198 кэв. В спектре совпадений обнаружен также слабый пик с энергией  $\sim 1120$  кэв, который не наблюдается в конверсионном спектре.

Полученные нами результаты (таблица 3) совпадают с данными других авторов /21,22,25/ и значительно дополняют их. Кроме ранее известных каскадов нами впервые наблюдались следующие  $\gamma$ - $\gamma$  совпадения:

$$(\gamma 121) (\gamma 957 + 932); (\gamma 121) (\gamma 1199); (\gamma 121) (\gamma 1332); (\gamma 198) (\gamma 881 + 856);$$
$$(\gamma 198) (\gamma 1256).$$

Для получения дополнительной информации и доказательства существования предполагаемых уровней  $Sm^{147}$  нами было поставлено также несколько опытов по совпадениям с использованием схемы суммирования. Такие измерения были проделаны для уровней 800, 1078 и 1454 кэв. Результаты этих экспериментов показаны на рис. 8, 9 и 10. Пик 510 кэв на рис. 9 подтверждает наличие позитронов при распаде  $E_{\alpha}^{147}$ . На рис. 10 видны самые интенсивные  $\gamma$ -лучи с энергиями 635 и 748 кэв  $E_{\alpha}^{146}$ , которые дают суммарную энергию 1383 кэв.

147

#### Г. Определение мультипольностей переходов в $Sm^{147}$

В работе Городиского и др. /8/ впервые были измерены коэффициенты внутренней конверсии для  $\gamma$ -переходов с энергиями 198 и 121 кэв и получены значения для



$a_k = 0,22$  и  $1,34$ , соответственно. Авторам<sup>/8/</sup> было указано, что  $\gamma$ -переход 198 кэв принадлежит к типу E2, а переход 121 кэв - к типу M1. Экспериментальные отношения K/L для этих двух переходов, полученные Антоновой и др.<sup>/9/</sup>, подтвердили результаты Городинского и др.<sup>/8/</sup>. По данным работы<sup>/9/</sup> о схеме распада  $Eu^{147} \rightarrow Sm^{147}$  переход с энергией 77 кэв интерпретировался как переход типа M1. В этой же работе<sup>/9/</sup> предполагается, что возможные мультипольности переходов с  $h\nu = 600; 676$  и  $800$  кэв могут быть M1, E2 и M3, соответственно. В последующей работе Антоновой и др.<sup>/11/</sup> переход 121 кэв отнесен к типу M1+E2. Мультипольности остальных переходов не были известны. В 1962-63 г.г. появились три работы Иха и др.<sup>/22/</sup>, Швердтфегера и др.<sup>/21/</sup> и Ковригина и др.<sup>/24/</sup>, в которых определялись мультипольности  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде  $Eu^{147}$ .

Коэффициенты конверсии нами рассчитывались из относительных интенсивностей  $\gamma$ -лучей, полученных в работах<sup>/21,22/</sup>, и из наших данных о конверсионных электронах и о  $\gamma$ -лучах. При этом интенсивности  $\gamma$ -лучей нормировались по  $a_k$   $\gamma$ -перехода с  $h\nu = 198$  кэв, который принимался за чистый переход типа E2. Полученные результаты приведены в таблице 4. В таблице 5 выписаны мультипольности  $\gamma$ -переходов, возбуждающихся при распаде  $Eu^{147}$ , определенные в работах<sup>/9,11,21,22,24/</sup>. Если сравнить мультипольности в таблицах 4 и 5, то видно, что для большинства  $\gamma$ -переходов наблюдается хорошее согласие с нашими результатами. Несогласие существует только для перехода с энергией 800 кэв. В работе<sup>/9/</sup> предполагается, что мультипольность этого перехода типа M3. Ковригин и др.<sup>/24/</sup> не исключают возможность, что переход с энергией 676 кэв может принадлежать к типу E3 или E2.

147

#### Д. Обсуждение результатов и схемы распада $Eu^{147}$

Схема распада  $Eu^{147} \rightarrow Sm^{147}$  впервые была рассмотрена в работе Городинского и др.<sup>/8/</sup>, где были введены два первых возбужденных уровня с энергиями 121 и 198 кэв. В работах Антоновой и др.<sup>/9,11/</sup> и Швердтфегера и др.<sup>/21/</sup> эта схема распада была дополнена еще двумя уровнями с энергиями 800 и 1080 кэв на основании исследований спектра конверсионных электронов. Александровым и др.<sup>/15/</sup> методом  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений проверялось существование первых трех уровней. Полученные результаты подтвердили их наличие. Выполненные Джелеповым и др.<sup>/13/</sup> исследования по  $e$ - $e$  совпадениям подтвердили достоверность уровней 121 и 198 кэв. Наши результаты<sup>/20/</sup> по  $\gamma$ - $\gamma$  совпадениям показали, что кроме уровней 121, 198 и 800 кэв, существует и уровень с энергией 1080 кэв, который был введен в работах<sup>/11,12/</sup>.

Предполагаемая нами схема возбужденных уровней  $Sm^{147}$ , возникающих при распаде  $Eu^{147}$ , изображена на рис. 11. Ядра  $Eu^{147}$  и  $Sm^{147}$  имеют менее 88 нейтронов и принадлежат к группе сферических ядер. Поэтому при рассмотрении схемы

их уровней следует применять модель Майер. По этой модели основное состояние  $Sm^{147}$  может быть  $f7/2$  или  $h9/2$ . Экспериментально полученная по двум методам <sup>/27,28/</sup> величина спина равна  $7/2$ . В работе <sup>/19/</sup> основному состоянию  $Eu^{147}$  приписывается квантовая характеристика  $5/2^+$ , что хорошо подтверждается из схемы распада  $Gd^{147} \rightarrow Eu^{147}$  и из соседних нечетных ядер европия ( $Eu^{155}$ ,  $Eu^{153}$ ,  $Eu^{151}$ ,  $Eu^{149}$ ).

Самые интенсивные переходы, возникающие при распаде  $Eu^{147}$ , имеют энергию 121 и 198 кэВ. Естественно было предположить, что они происходят между нижними уровнями. Остальные переходы менее интенсивны. Тот факт, что  $\gamma$ -лучи с энергиями 121 и 198 кэВ не идут в каскаде <sup>/8,13/</sup>, дало возможность заключить, что они определяют два нижних уровня с этими энергиями. Уровень 121 кэВ подтверждается и при  $\beta^-$ -распаде  $Pm^{147} \rightarrow Sm^{147}$  <sup>/29/</sup>, при котором испускаются малоинтенсивные  $\gamma$ -лучи с энергией 121 кэВ. Совпадения между конверсионными электронами переходов 121 и 77 кэВ <sup>/13/</sup> и отсутствие совпадений между конверсионными электронами переходов 77 и 198 кэВ доказывают наличие уровня с энергией 198 кэВ. Остальные два уровня 800 и 1078 кэВ подтвердились методом  $\gamma-\gamma$ -совпадений в ряде работ. В настоящее время можно считать возбужденные уровни  $Sm^{147}$  с энергиями 121; 198; 800 и 1078 кэВ хорошо установленными.

<sup>147</sup> Наши исследования дают возможность дополнить схему возбужденных состояний  $Sm$  еще тремя новыми уровнями с энергиями 1053; 1320 и 1454 кэВ. Уровень 1053 кэВ введен нами на основе энергетического баланса и баланса интенсивностей. Разность энергии между переходами 832 и 856 кэВ составляет 76 кэВ. Эти два перехода разряжают уровень 1053 кэВ на уровни 121 и 198 кэВ. Прямого перехода с энергией 1053 кэВ мы не обнаружили. Если он существует, то его интенсивность должна быть очень малой. Методом  $\gamma-\gamma$  совпадений нам не удалось доказать существование этого уровня, так как рядом с ним, (на 25 кэВ выше) находится уровень 1078 кэВ, с которого также на уровни 121 и 198 кэВ идет более интенсивный переход с энергией 857 кэВ и слабый переход 881 кэВ. Опыт с перемещением вырезающего окна в сторону больших и меньших энергий от 1080 кэВ не позволяет доказать наличие уровня 1053 кэВ.

Наличие  $\gamma$ -перехода с энергией 1199 кэВ и его совпадения с  $\gamma$ -квантами с  $h\nu = 121$  кэВ (рис. 6) позволяют предположить существование уровня с энергией 1320 кэВ в  $Sm^{147}$ . Кроме того, в спектре совпадений с  $\gamma$ -квантами с  $h\nu = 198$  кэВ (рис. 7) обнаружен слабый пик с энергией около 1120 кэВ.

На основе данных по исследованию конверсионных электронов, спектров  $\gamma$ -лучей и  $\gamma-\gamma$  совпадений нами было обнаружено существование нового уровня  $Sm^{147}$  с энергией 1454 кэВ. С этого уровня наблюдается прямой переход в основное состояние и два

перехода на уровни 121 и 198 кэв. Методом  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений установлено, что  $\gamma$ -лучи с  $h\nu = 1332$  кэв дают совпадения с  $\gamma$ -квантами 121 кэв, а  $\gamma$ -лучи 1256 кэв с  $\gamma$  198. Кроме того методом сложения (рис. 10) при установке схемы на сумму 1460 кэв четко определяются пики 1256 и 1330 кэв. Этим доказываются существование уровня с энергией 1454 кэв.

Значение  $\lg ft = 8,0$  показывает, что  $\beta^+$ -переход первого порядка запрещен. Он может идти на уровни с энергиями 198, 121 и в основное состояние. В опытах по совпадениям  $\gamma$ -лучей с энергиями 121 и 198 кэв с  $\gamma$ -спектром заметно не проявляется пик с  $h\nu = 511$  кэв. С другой стороны, аннигиляционные  $\gamma$ -кванты 511 кэв довольно четко проявляются в схеме суммирования, когда вырезающее окно было установлено на сумме 1080 кэв. Эти факты указывают, что основная доля  $\beta^+$ -распада происходит в основное состояние  $S_m$ . При этом предположении разность масс  $E_u - E_m$  равна  $1652 \pm 15$  кэв. Близкие значения приведены в работах Камерона и Леви: 1532 и 1549 кэв, соответственно.

На основании определения мультипольностей  $\gamma$ -лучей, возникающих при распаде  $E_u$ , и опытов по  $\gamma$ - $\gamma$ -корреляциям, возбужденным состояниям  $S_m$  были приписаны следующие квантовые характеристики: 121 кэв -  $5/2^-$ ; 198 кэв -  $3/2^-$ ; 800 кэв -  $3/2^-$ ; 1098 кэв  $7/2^-$  и 1454 кэв -  $(3/2, 5/2, 7/2)^-$ .

Интересное сравнение можно провести между возбужденными состояниями ядер  $^{147}_{85}Sm$ ,  $^{145}_{60}Nd$  и  $^{149}_{64}Gd$ . Все они содержат четное число протонов и 85 нейтронов. Обращает на себя внимание тот факт, что они имеют вблизи основного состояния по два возбужденных уровня. По мере приближения к границе деформированных ядер энергетическое расстояние между этими тремя уровнями увеличивается. У всех трех ядер между вторым и третьим возбужденным состоянием существует большая энергетическая щель, которая с приближением к границе деформации уменьшается (рис. 12). Квантовые характеристики основных состояний  $Nd$  и  $Sm$  были определены экспериментально в работах /30,27,28/ и равны  $7/2$  с отрицательной четностью. По-видимому, спин основного состояния  $Gd$  также равен  $7/2$ . Квантовые характеристики основных состояний их материнских изотопов  $Pm$ ,  $Ea$  и  $Tb$  равны  $5/2^+$ . Данные Александрова /25/ по угловым корреляциям подтверждают результаты Антоновой и др. /11/ о последовательности спинов трех нижних состояний  $Sm$ : 0 кэв -  $7/2^-$ , 121 кэв -  $5/2^-$  и 198 кэв -  $3/2^-$ . Такие же значения спинов этих уровней приведены и в работах /21,22/. Аналогичная картина спинов должна наблюдаться и у  $Gd$ . В работе Данагуля и др. /31/ предполагается, что спин первого возбужденного уровня  $Gd$  (165,3 кэв) равен  $5/2^-$ . На основе экспериментального определения мультипольностей между нижними уровнями  $Gd$  с энергиями 0; 165,3 и

и 351,6 кэв <sup>31/</sup>, можно предположить, что спии уровня 351,6 кэв типа 3/2<sup>-</sup>. Тогда последовательность спинов нижних трех уровней Gd <sup>149</sup> подобна Sm <sup>147</sup>, у Nd <sup>145</sup> по данным работы <sup>32/</sup>, уровень 3/2<sup>-</sup> лежит ниже состояния 5/2<sup>-</sup>. Необходимо еще отметить, что электронный захват на нижние три уровня Nd <sup>145</sup>, Sm <sup>147</sup> и Gd <sup>149</sup> имеет первый порядок запрещения.

### Д о п о л н е н и е

В июне 1964 года наша работа была доложена на совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра в Дубне. Позднее вышла работа Мак-Нальти и др. <sup>34/</sup>, в которой изучались спектры:  $\gamma$ -лучей,  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений и  $\gamma$ - $\gamma$ -корреляций. Полученные нами результаты с небольшими отклонениями хорошо совпадают с данными этой работы. Кроме новых трех уровней, которые мы наблюдали, Мак-Нальти и др. <sup>34/</sup> приводят и уровень 1545 кэв. Переходы с энергиями 881 и 932 кэв в работе <sup>34/</sup> не были обнаружены. В измерениях по корреляциям  $\gamma$ -лучей 957 - 122 кэв <sup>34/</sup> не учтено влияние  $\gamma$ -лучей с  $E_{\gamma} = 932$  кэв. В работе <sup>34/</sup> по экспериментальному значению интенсивности аннигиляционного пика 511 кэв было получено число позитронов на распад (0,54±0,08)%. Позитронный распад Eu <sup>147</sup> происходит по данным работы <sup>34/</sup> на уровнях 122 и 198 кэв.

Авторы выражают глубокую благодарность М.Иллеску за помощь в обработке и измерениях и Г.М.Воробьеву за участие в измерениях.

### Л и т е р а т у р а

1. A.Cameron. "A Revised Semi-Empirical Atomic Mass Formula" (1957).
2. J.Riddell. "A Table of Levy's Empirical Atomic Mass" (1957).
3. Г.Ф.Драницына. Препринт ОИЯИ 959, Дубна, 1962.
4. B.Harnatz, T.Handley and J.Mihelic. Phys. Rev., 123, 1758 (1961).
5. R.Hoff, J.Rasmussen, S.Thompson. Phys. Rev., 83, 1068 (1951).
6. J.Rasmussen, S.Thompson, A.Ghiorso. Phys. Rev., 989, 33 (1953).
7. V.S.Shirley, W.G.Smith, J.Rasmussen. Nucl. Phys., 4, 395 (1957).
8. Г.Городинский, А.Мурин, В.Покровский, Б.Преображенский. Изв. АН СССР (сер.физ.) 21, 1624 (1957).
9. Н.Антонова, А.Башилов, Б.Джеленов, Б.Преображенский. Изв. АН СССР (сер.физ.) 22, 906 (1958).

10. Н.Антоњева, А.Башилов, Б.Джелепов. Программа и тезисы докладов X ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Москве. Изд- АН СССР, М-Л, 1980.
11. Н.Антоњева, А.Башилов, Б.Джелепов, К.Каун, А.Майер, В.Смирнов. ЖЭТФ, 40, 23 (1961).
12. C.Schwerdtfeger, J.Mihelich, V.Harmatz. Bull. Amer. Phys. Soc., 4, 426 (1959).
13. Б.Джелепов, Б.Преображенский, В.В.Сергиенко. Изв. АН СССР (сер.физ.) 22, 945 (1958).
14. Г.Городнянский, А.Мурич, В.Покровский, Б.Преображенский, Н.Титов. ДАН СССР, 112, 405 (1957).
15. Ю.Александров, Ю.Немилов, М.Никитин, Ш.Пискорж. Изв. АН СССР (сер.физ.), 24, 1099 (1960).
16. Г.Городнянский, В.Покровский, Е.Фирсов. Ученые записки Ленинградского педагогического института им. Герцена, т.197, 176 (1958).
17. Э.Берлович, К.Кротовский, М.Бониц, В.Бреслав, Б.Преображенский. Изв. АН СССР, (сер. физ.), 22, 1643 (1957).
18. J.Olkowsky, M.Pare, I.Gratot, L.Cohen. J. Phys. Rad., 20, 549 (1959).
19. А.А.Сорокин, К.П.Митрофанов. Программа и тезисы XI ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Риге. Изд. АН СССР, М-Л, 1961.
20. И.Визи, К.Громов, Б.Джелепов, Ж.Желев, Ю.Язвицкий. Изв. АН СССР (сер.физ.) 25, 1101 (1961); Nucl. Phys. 30, 120 (1962);
21. C.Schwerdtfeger, H.Prask, J.Mihelich. Nucl. Phys., 35, 168 (1962).
22. S.Jha, R.Gupta, H.Devare, G.Pramila. Nuovo Cim., 25, 28 (1962).
23. Г.Сычиков, В.Бурмистров, А.Вангай, О.Ковригин, Г.Ландаренко, Г.Латышев, А.Новгородов. Препринт ОИЯИ 1536, Дубна, 1964.
24. О.Ковригин, В.Карташев, Г.Латышев, Г.Ландаренко, А.Новгородов, Г.Сычиков, В. Шаповаленко. Изв. АН СССР (сер.физ.), 27, 263 (1963).
25. Ю.Александров. Диссертация, ЛГУ, 1962.
26. O.Natan. V.Porfv. Nucl. Phys., 21, 631 (1960).
27. K.Murakawa. Phys. Rev., 93, 1932 (1954).
28. G.S.Bogle, H.E.D. Scovil. Proc. Phys. Soc. 65A, 360 (1952).
29. Langevin-Joliot. H.J.Phys. Rad., 17, 497 (1956).
30. C.A.Hutchinson, B.Wong. J.Chem. Phys. 29, 754 (1958).
31. А.С.Данагуля, А.Т.Стригачев, В.С.Шпибель. Изв. АН СССР (сер.физ.) 28, 90 (1964).
32. A.Brosi, V.H.Ketelle, H.C.Thomas, R.J.Kerr. Phys. Rev., 113, 329 (1959).
33. J.C.Albergotti and P.E.Shearin. Phys. Rev., 131, 1224 (1963).
34. J.F. Mc Nalty, E.G.Funk, and J.W.Mibelich, Nucl. Phys., 55, 657 (1964).
35. Л.А.Слив, И.М.Банд. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии  $\gamma$ -излучения. Изд-во АН СССР, М-Л, 1958 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 мая 1965 г.

Таблица I. Данные о конверсионных электронах Еи I47

№ п/п	Антоньева и др. /9, 10, 11/			Швердфегер и др. /12, 21/			Ковригина и др. /23, 24/			Наша работа		
	Е <sub>γ</sub> (кэВ)	$\frac{I_{к,л}}{I_{к198}} \cdot 100$	Наб- людае- мая линия	Е <sub>γ</sub> (кэВ)	$\frac{I_{к,л}}{I_{к198}} \cdot 100$	Наб- люд- ная линия	Е <sub>γ</sub> (кэВ)	$\frac{I_{к,л}}{I_{к198}} \cdot 100$	Наб- люда- емая линия	Е <sub>γ</sub> (кэВ)	$\frac{I_{к,л}}{I_{к198}} \cdot 100$	Наб- люда- емая линия
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I.	76,5±0,3	~ 100 ~ 15	К L	76,4	55 -	К L	77	50 12	К L	77	420 -	К L
2.	121±0,3	480±30 77 -	К L M	121,8	565 - -	К L M	121	500 80 30	К L M	121±0,4	500±60 82±10 28±4	К L M
3.	198±0,3	100 29	К L M	198,1	100	К L M	198	100 25 9	К L M	198,0±0,6	100 26±3 -	К L M
4.	600±2	1,9±0,2	К L	600	2,9 -	К L	602	2,0 0,3	К L	602±2,5	2,5±0,3 0,4±0,06	К L
5.	676±2	1,8±0,2	К L	680	2,9 -	К L	679	2,0 0,37	К L	676±2,5	2,6±0,3 0,5±0,07	К L
6.	800±5	~0,3	К -	800	0,71 -	К -	801	0,3 0,05	К L	800±3	0,76±0,10 0,14±0,03	К L

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	856±4	0,17±0,03	K
8.	—	—	—	881	0,13	K	—	—	—	881±0,4	0,08	K
9.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	932±4	0,17±0,03	K
10.	957±4	0,4±0,1	K	957	0,84	K	—	—	—	957±3	0,56±0,08 ~ 0,07	K L
11.	1080	0,6±0,2	K	1079	0,75	K	—	—	—	1078±4	0,72±0,08 0,10±0,02	K L
12.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1199±6	0,034±0,008	K
13.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1256±5	0,080±0,015	K
14.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1332±6	0,030±0,008	K
15.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1454±7	0,025±0,008	K

Таблица 2. Данные о  $\text{J}$  - лучах Еи I47.

№ пп	Иха и др. /22/		Швердгер и др. /21/		Александров /25/		Наши данные	
	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$\frac{I_{\gamma}}{I_{\gamma(1080)}} \cdot 100$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$\frac{I_{\gamma}}{I_{\gamma(1079)}} \cdot 100$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$\frac{I_{\gamma}}{I_{\gamma(1080)}} \cdot 100$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$\frac{I_{\gamma}}{I_{\gamma(1080)}} \cdot 100$
1.	77,0	$\leq 35,7$	76,4	8,1	$76 \pm 5$	—	77	—
2.	121,0	357	121,8	237	$121 \pm 5$	—	121	—
3.	198	357	198,1	312,5	$198 \pm 5$	—	198	—
4.	600	110,7	600	114	$600 \pm 20$	—	602	97
5.	676	93	680	161	$670 \pm 30$	—	676	150
6.	800	64	800	83	—	—	800	89
7.	—	—	—	—	—	—	856	64
8.	880	57	881	63	—	—	881	
9.	—	—	—	—	—	—	932	120
10.	960	121	957	101	$950 \pm 30$	—	957	
11.	1080	100	1079	100	—	—	1078	100
12.	—	—	—	—	—	—	1120	—
13.	—	—	—	—	—	—	1199	29
14.	—	—	—	—	—	—	1256	
15.	—	—	(1300)	—	—	—	1332	9
16.	—	—	—	—	—	—	1454	



Таблица 3. Данные о  $\gamma$ - $\gamma$  -совпадениях при распаде  $E_{\alpha} 147$

№ пп	Иха и др. /22/		Наши данные	
	Выделенный пик (кэв)	Совпадающие -кванты	Выделенный пик (кэв)	Совпадающие -кванты
1.	120	680; 960	121	676; 932+957; 1199; 1332.
2.	200	600; 880	198	602; 856+881; ~ 1120; 1256
3.	600	120; 200	602	198
4.	680	120	676	121
5.	880	200	881+856	198
6.	960	120	957+932	121
7.			~ 1120	198
8.			1199	121
9.			1256	198
10.			1332	121

Таблица 4. Определение мультипольностей переходов в  $S_m I_{47}$ .

E (кэВ)	$I_{e^-}$	$I_{\gamma}$	$\alpha$ эксперим.	$\alpha$ теоретическое [35]					Мультипольность
				E1	E2	E3	M1	M2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
77	~ 60	25,6	0,354±0,035						M1+ E2 [11]
I2I	500±60	76	0,992±0,218	0,14	0,70	2,88	0,85	6,6	M1+ E2
I98	100	100	0,154	3,80.10 <sup>-2</sup>	0,154	0,56	1,90.10 <sup>-1</sup>	1,0	E2
600	2,5±0,3	31±3,1	0,0122±0,0027	2,40.10 <sup>-3</sup>	6,60.10 <sup>-3</sup>	1,58.10 <sup>-2</sup>	1,17.10 <sup>-2</sup>	3,47.10 <sup>-2</sup>	M1 или M1+E2
676	2,6±0,3	51,5	0,0076±0,0016	1,86.10 <sup>-3</sup>	4,90.10 <sup>-3</sup>	1,12.10 <sup>-2</sup>	8,71.10 <sup>-3</sup>	2,51.10 <sup>-2</sup>	E2+M1
800	0,76±0,1	18±1,8	0,0064±0,0015	1,35.10 <sup>-3</sup>	3,39.10 <sup>-3</sup>	7,59.10 <sup>-3</sup>	5,75.10 <sup>-3</sup>	1,55.10 <sup>-2</sup>	M1+E2
957	0,56±0,08	34±3,4	0,0025±0,0006	9,55.10 <sup>-4</sup>	2,29.10 <sup>-3</sup>	4,90.10 <sup>-3</sup>	3,76.10 <sup>-3</sup>	9,55.10 <sup>-3</sup>	E2 или M1+E2
I080	0,72±0,1	28±2,8	0,0039±0,00093	7,59.10 <sup>-4</sup>	1,78.10 <sup>-3</sup>	3,71.10 <sup>-3</sup>	2,82.10 <sup>-3</sup>	6,92.10 <sup>-3</sup>	M1 или M1+E2

18

Таблица 5. Данные о мультипольностях переходов в  $S_m I_{47}$ , полученные в других работах.

№ пп	E $\gamma$ (кэВ)	Швердтфегер и др. [21/]	Антоньева и др. [9, 11/]	Иха и др. [22/]	Ковригин и др. [24/]
1.	77	M1+E2; 20% E2	M1+E2	M1	M1+15%E2
2.	I2I	M1+E2; 10% E2	M1+E2	M1	-
3.	I98	E2 ( $\leq$ 1% M1)	E2	E2	-
4.	600	M1+ (0-10%) E2	M1	E2 или E2+M1	M1 или E2
5.	676	M1+ (0-42%) E2	E2	E2	E2 или E3
6.	800	M1+ (65-100%) E2	M3	E2	-
7.	88I	E2	-	E2	-
8.	957	M1+(0<50%) E2	-	E2 или (E2+M1)	-
9.	I080	M1+(<2% E2)	-	M1 или (E2+M1)	-

19

Таблица 5. Данные о мультипольностях переходов в  $S_m^{I47}$ , полученные в других работах.

№ пп	$E_\gamma$ (кэВ)	Швердтфегер и др. /21/	Антоњева и др. /9, II/	Иха и др. /22/	Ковригина и др. /24/
1.	77	$MI+E2$ ; 20% $E2$	$MI+E2$	$MI$	$MI+15\%E2$
2.	121	$MI+E2$ ; 10% $E2$	$MI+E2$	$MI$	-
3.	198	$E2$ ( $\leq 1\% MI$ )	$E2$	$E2$	-
4.	600	$MI+$ (0-10%) $E2$	$MI$	$E2$ или $E2+MI$	$MI$ или $E2$
5.	676	$MI+$ (0-42%) $E2$	$E2$	$E2$	$E2$ или $E3$
6.	800	$MI+$ (65-100%) $E2$	$M3$	$E2$	-
7.	881	$E2$	-	$E2$	-
8.	957	$MI+(0 < 50\%) E2$	-	$E2$ или $(E2+MI)$	-
9.	1080	$MI+( < 2\% E2)$	-	$MI$ или $(E2+MI)$	-

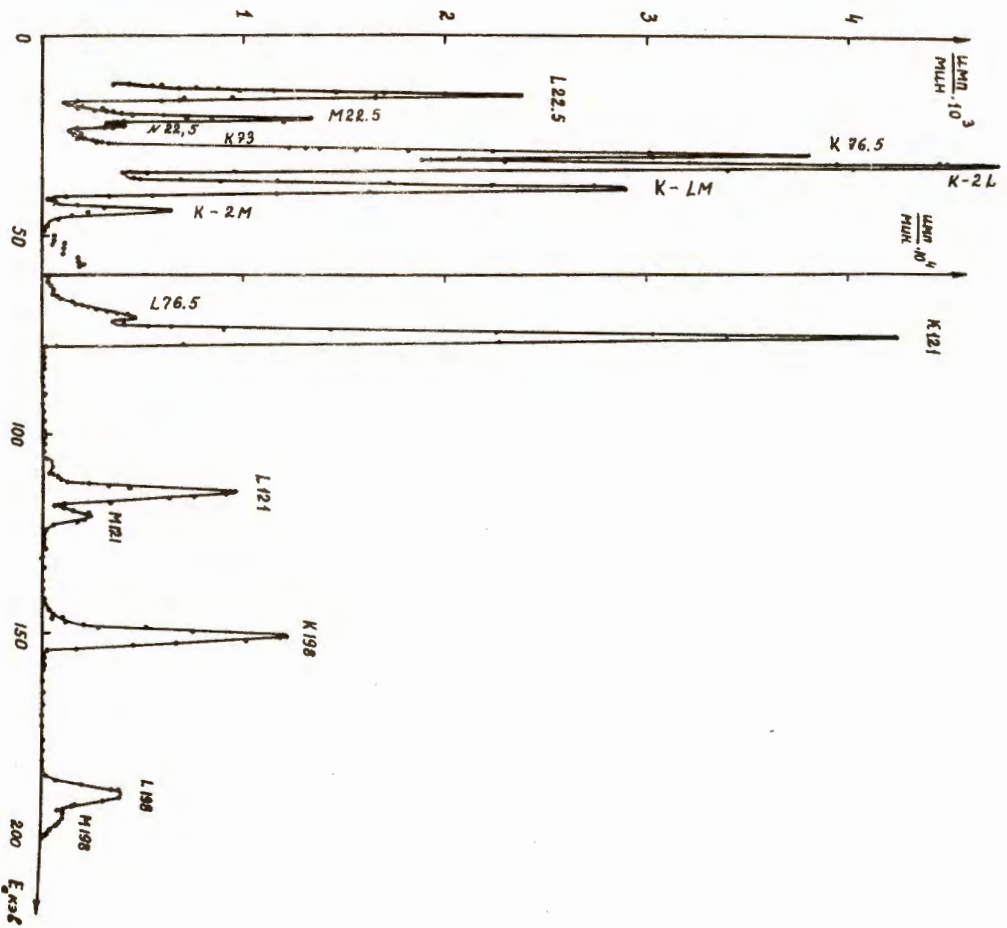


Рис. 1. Спектр конверсионных электронов Eu <sup>147</sup> и Eu <sup>149</sup> в интервале энергии от 10 до 200 кэВ, снятый на одиночном счетчике.

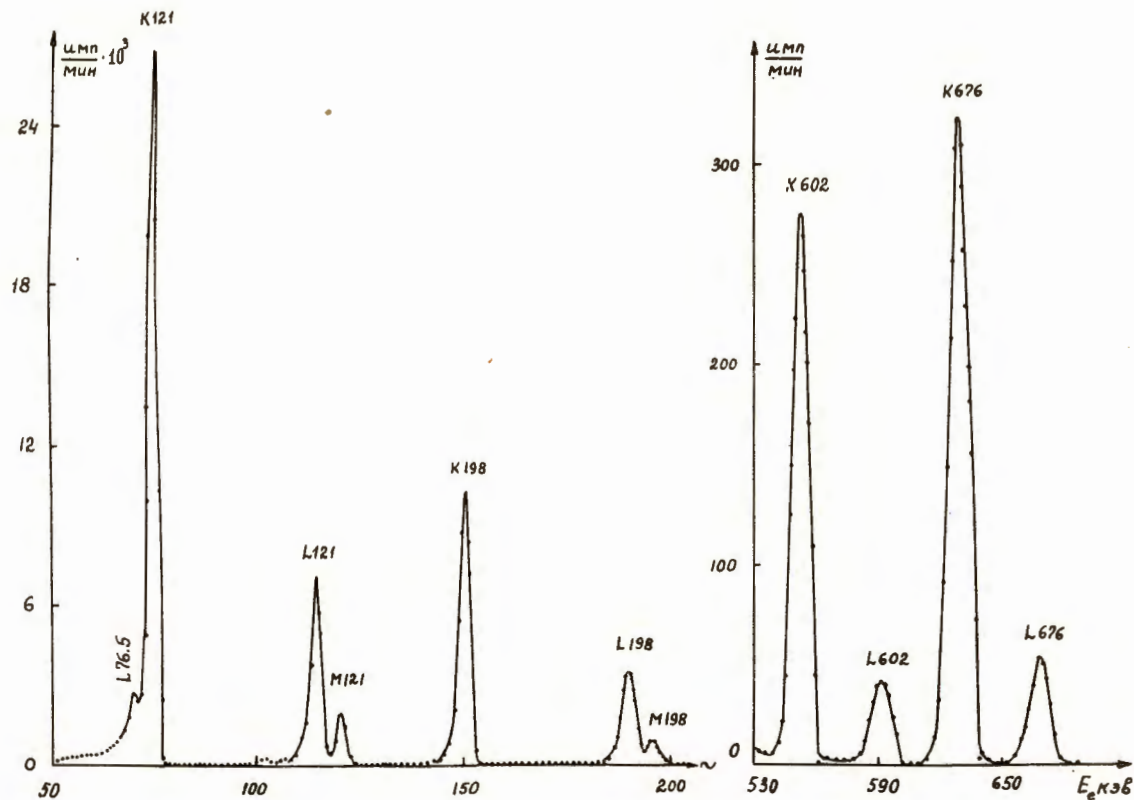
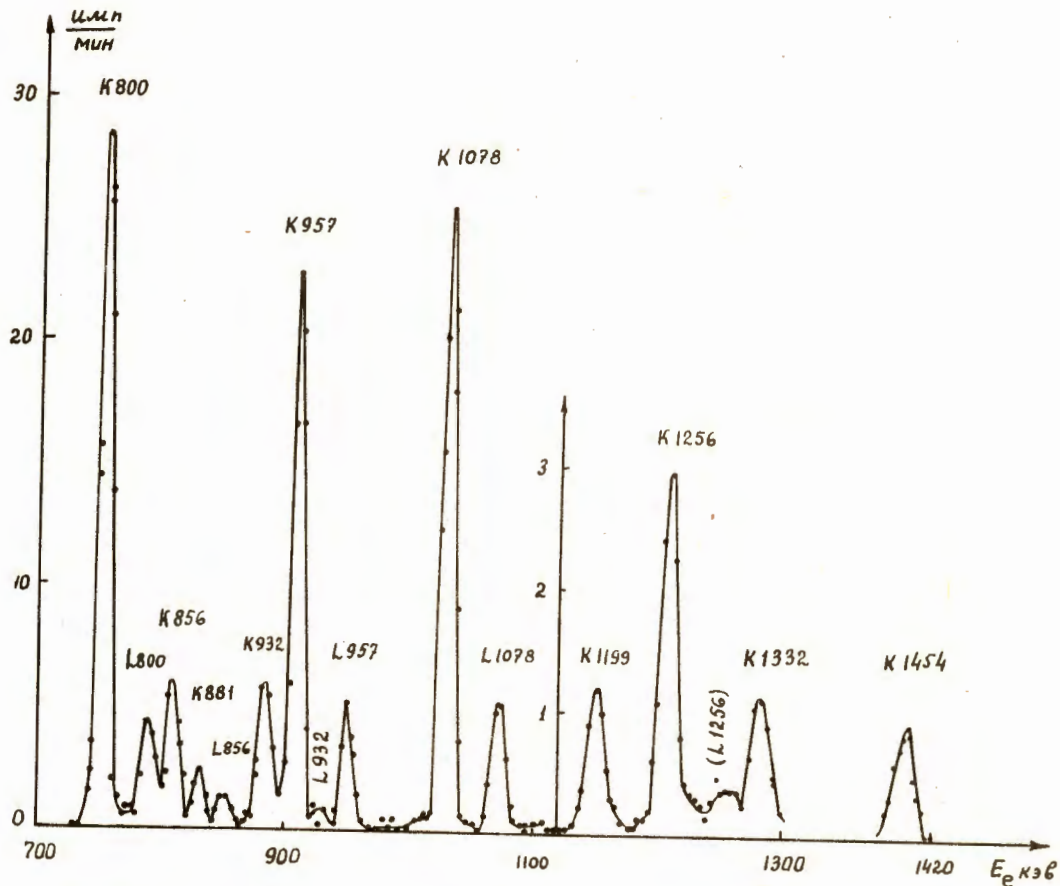


Рис. 2. Спектр конверсионных электронов  $\text{Eu}^{147}$  в интервале энергий от 50 до 200 кэВ и от 530 до 700 кэВ, снятый на двойной камере в режиме двойных совпадений.



147  
 Рис. 3. Спектр конверсионных электронов  $E_c$  в интервале энергий от 720 до 1500 кэВ, снятый на тройной камере в режиме тройных совпадений.

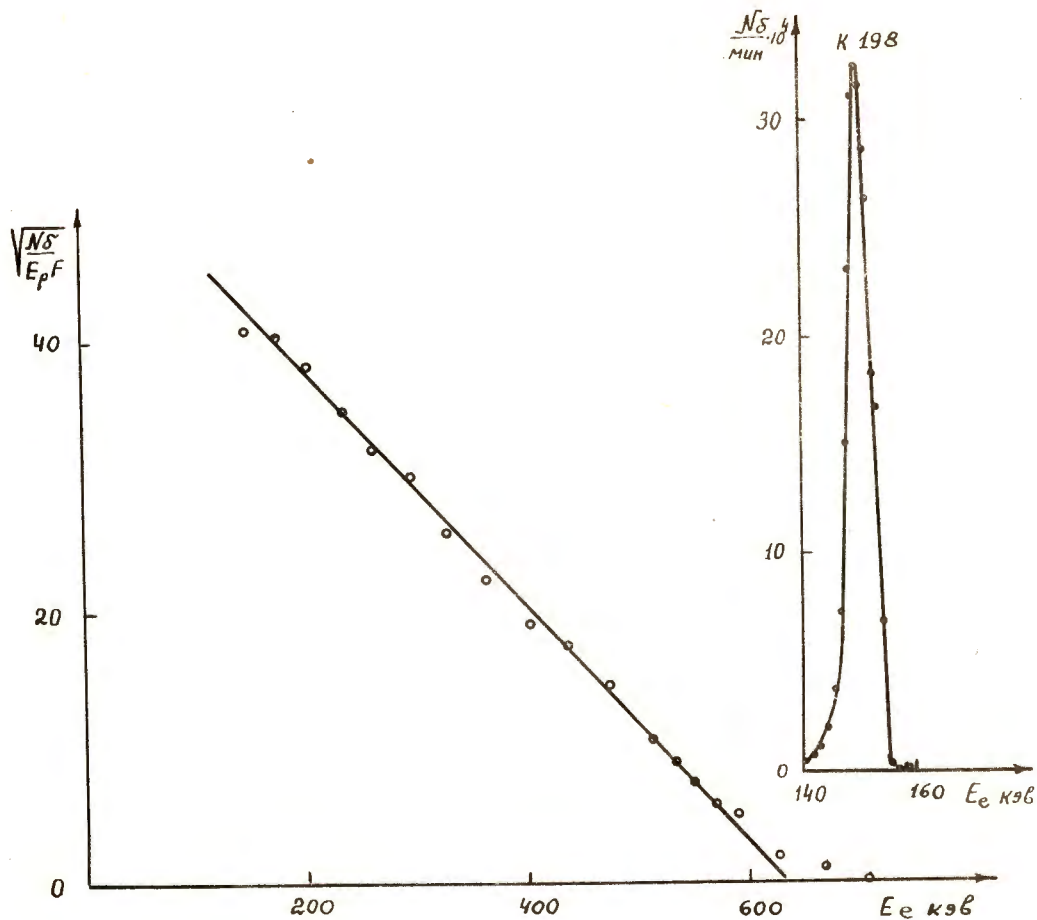


Рис. 4. График Кюри  $\beta^+$ -спектра  $\text{Eu}^{147}$  и К-конверсионная линия перехода 198 кэВ.

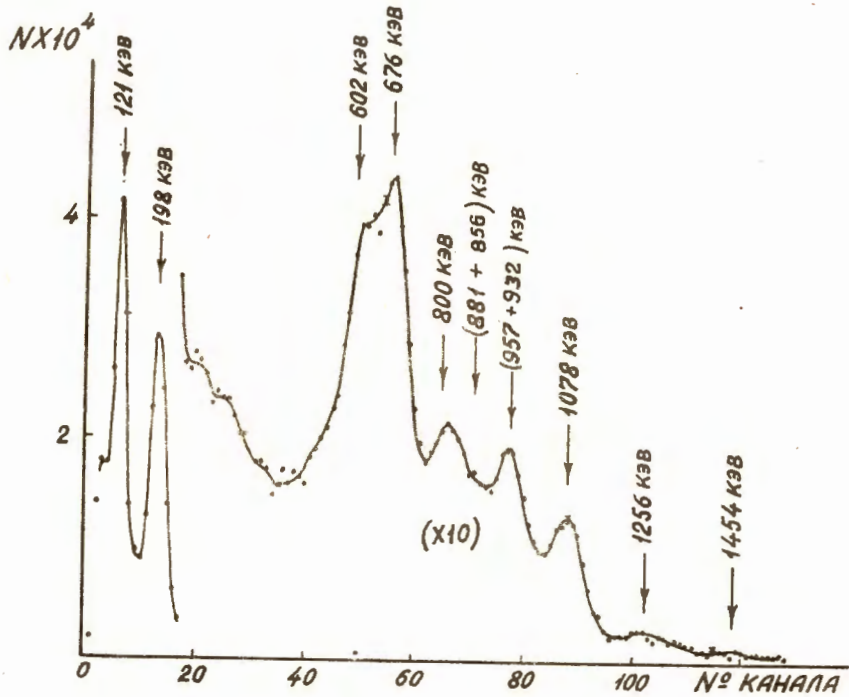


Рис. 5. Одиночный гамма-спектр  $Eu$  <sup>147</sup>



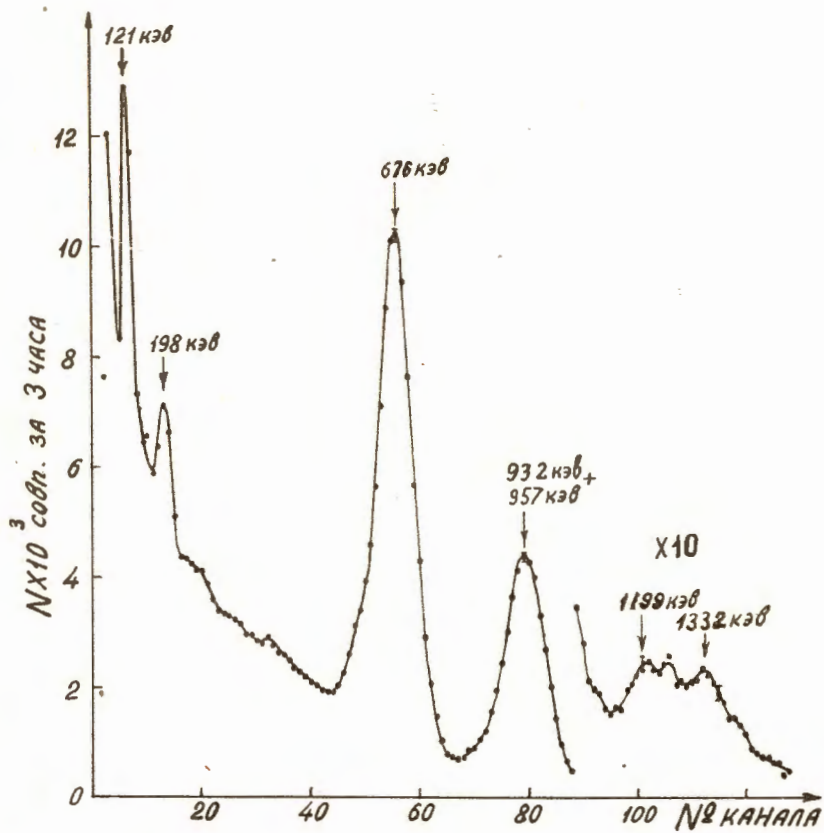


Рис. 6. Спектр совпадения гамма-лучей с гамма-квантами с энергией 121 кэВ  $Eu^{147}$ .

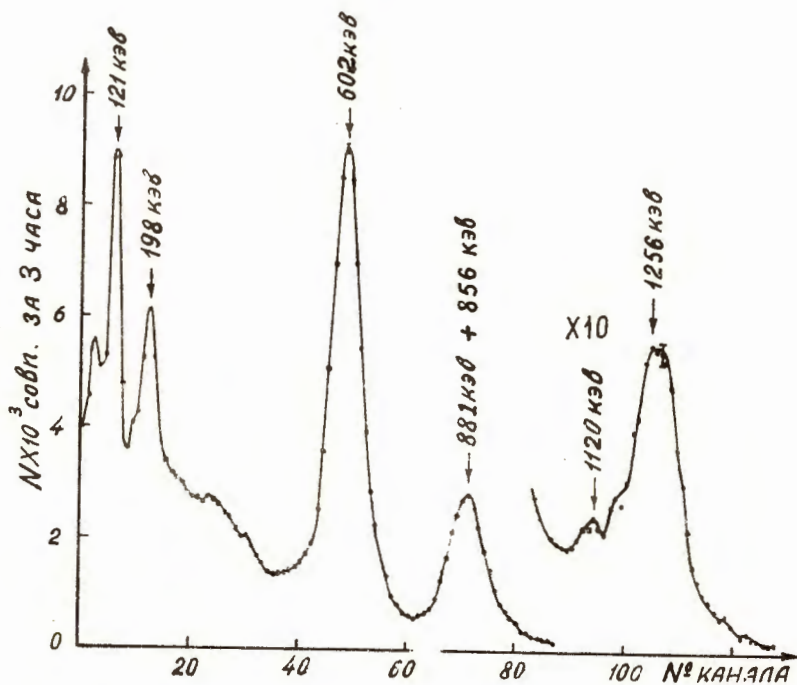


Рис. 7. Спектр совпадения гамма-лучей с гамма-квантами с энергией 198 кэВ  $\text{Eu}$  147  
 Увеличение счета в области энергии 121, 198 кэВ вызвано совпадениями гамма-лучей с  $\text{Eu}$  = 121 и 198 кэВ в анализирующем кристалле со всеми гамма-лучами большей энергии, потерявшими в управляющем кристалле энергию, равную 121 (или 198) кэВ.

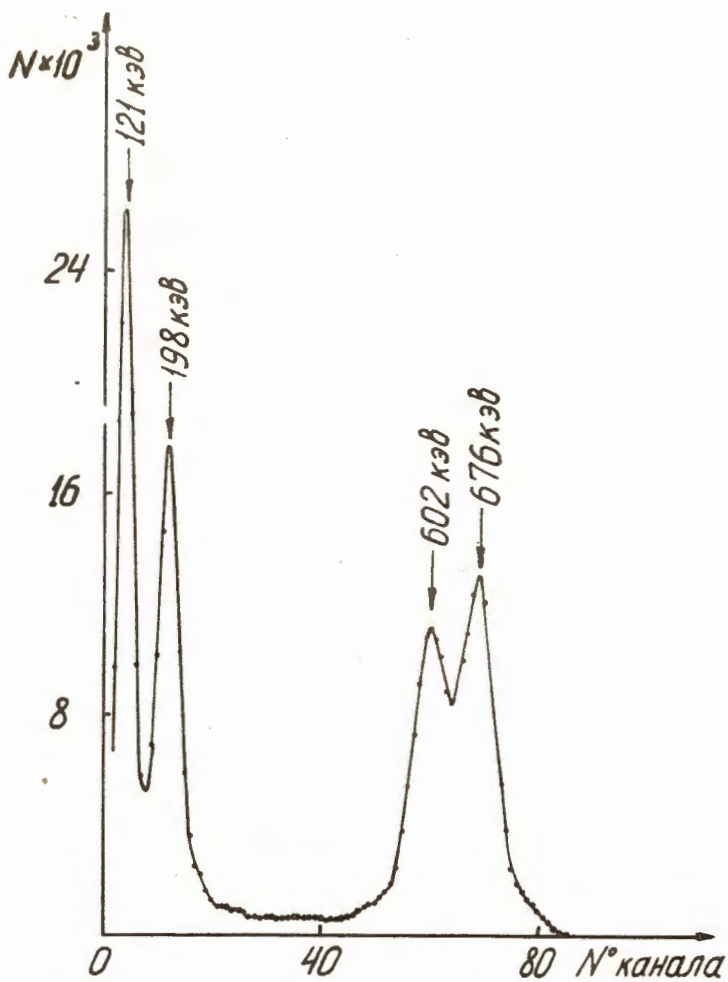


Рис. 8. Спектр суммирования при установке схемы на сумму 800 кэВ.

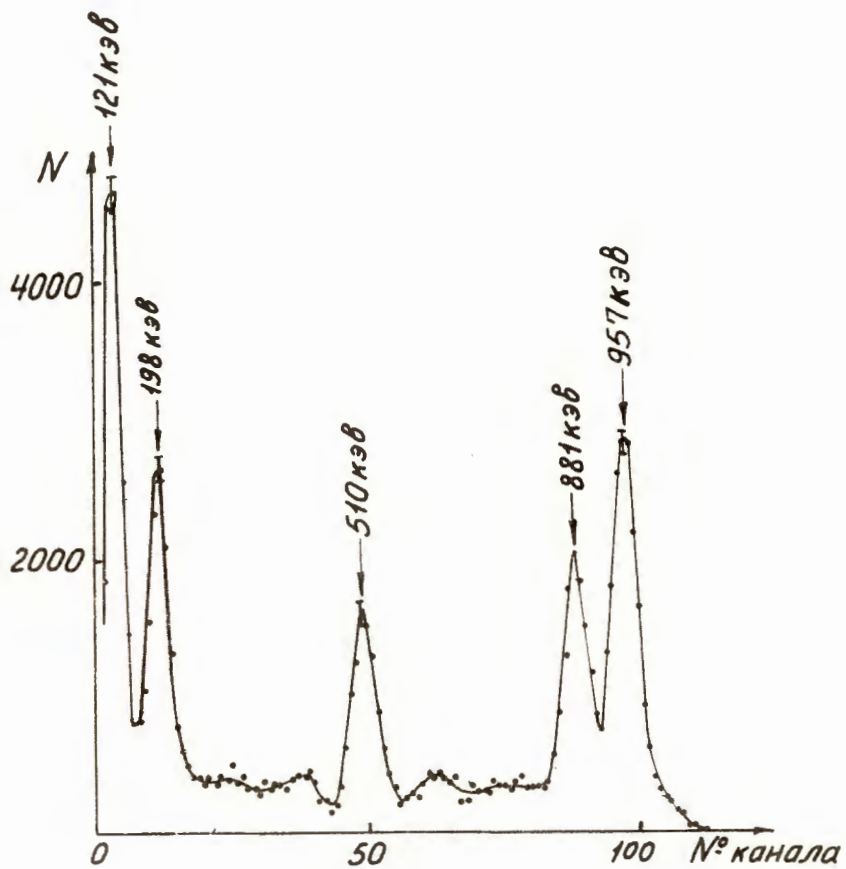


Рис. 8. Спектр суммирования при установке схемы на сумму 1080 кэв.

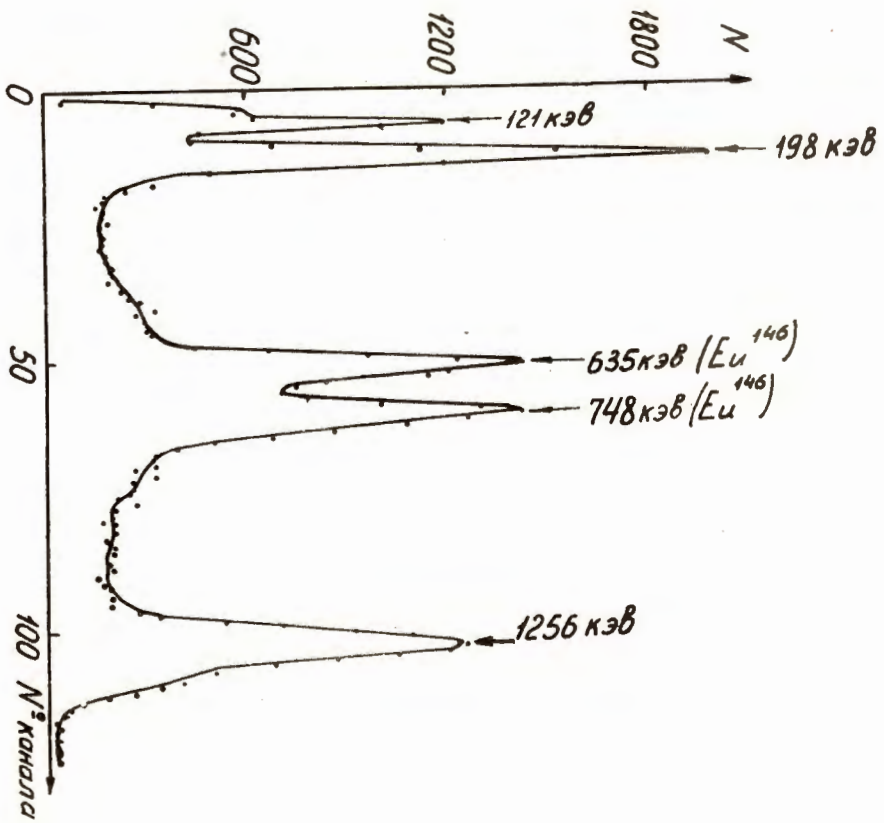


Рис. 10. Спектр суммирования при установке схемы на сумму 1460 кэВ.

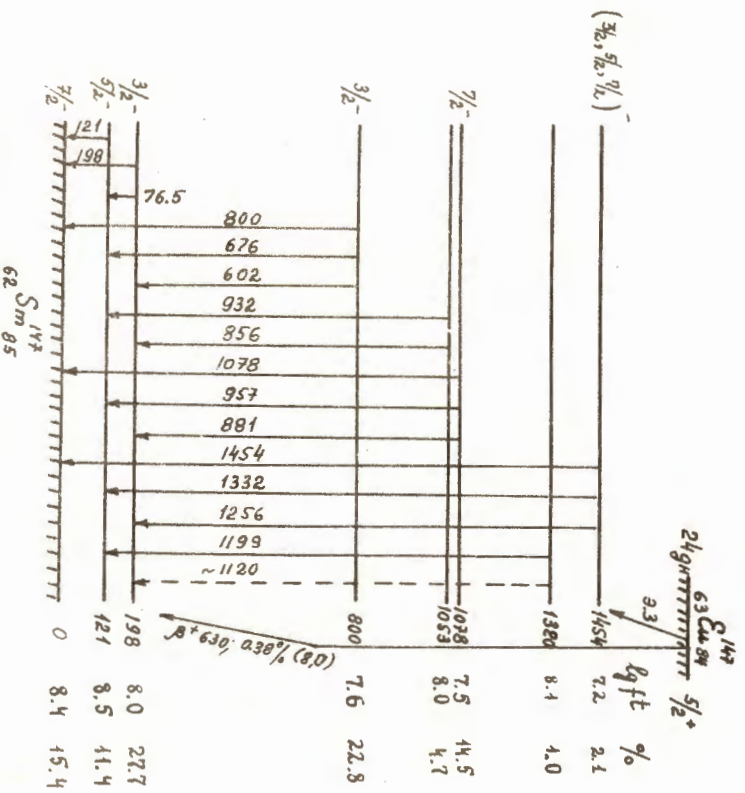


Рис. 11. Схема пахучая  $E_{147} \rightarrow S_m$   $147$

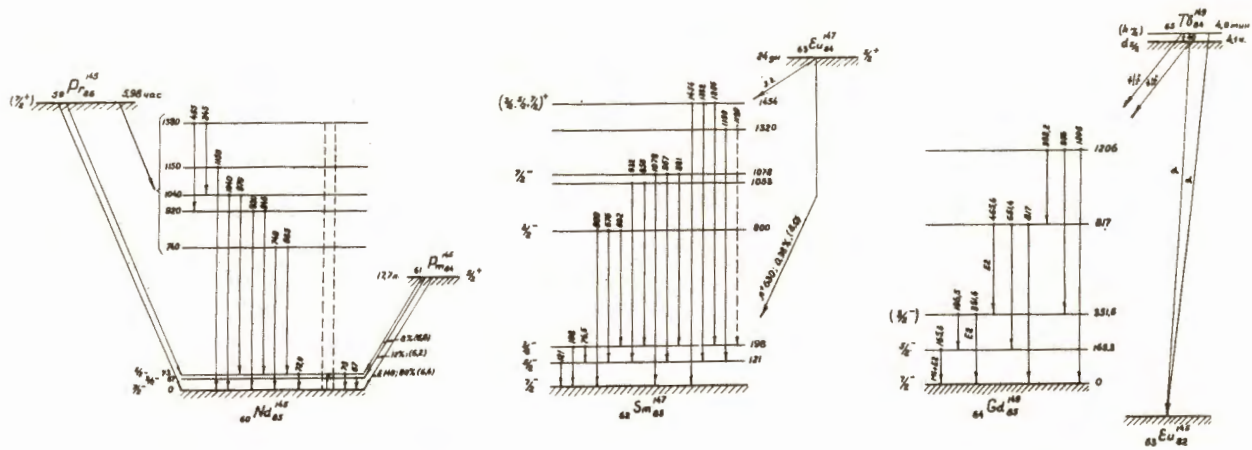


Рис. 12. Схемы возбужденных уровней  $Nd^{145}$ ,  $Sm^{147}$  и  $Gd^{149}$ .