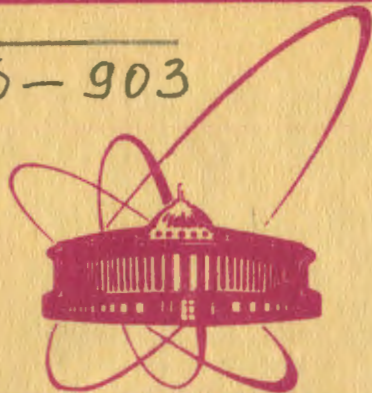


Б-903



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

2279/2-81

11/5-81

P13-81-7

М.Будзынски, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов,  
Т.М.Муминов, Р.Р.Усманов, Т.Хазратов

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ  
 $\beta$ -СПЕКТРОВ В  $\beta$ - $\gamma$ -СОВПАДЕНИЯХ

Направлено в сборник "Прикладная ядерная спектроскопия"

1981

Экспериментальные данные об энергиях и интенсивностях  $\beta$ -переходов содержат в себе ценную информацию о структуре атомных ядер. Получение такой информации в большинстве случаев затрудняется необходимостью анализа многокомпонентных  $\beta$ -спектров. Задача существенно упрощается при применении техники  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений. Применяя  $\beta$ - $\gamma$ -совпадения, можно выделить отдельные компоненты сложного, многокомпонентного спектра или уменьшить число компонент в сложном  $\beta$ -спектре. С точки зрения накопления и обработки экспериментальных данных о  $\beta$ - $\gamma$ -совпадениях могут быть рассмотрены два способа постановки эксперимента.

При первом способе в  $\gamma$ -спектре выбираются "окна", отвечающие отдельным  $\gamma$ -переходам, и набираются энергетические спектры совпадений  $\beta$ -частиц с каждым из "окон". Так ставилось большинство экспериментов по  $\gamma$ - $\beta$ -совпадениям. Второй способ предполагает набор спектров  $\gamma$ -лучей, совпадающих с выбранными участками всего сложного  $\beta$ -спектра, определение интенсивностей  $\gamma$ -пиков в каждом из этих спектров и построение по полученному набору интенсивностей каждого отдельного  $\gamma$ -фотопика спектров  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений. Очевидно, что принципиальной разницы между указанными двумя постановками эксперимента нет. Однако мы считаем, что второй способ позволяет получить больший объем информации за одинаковое время измерений и более удобен для использования методов накопления и обработки информации на ЭВМ. Этим методом в [1] определялись энергии  $\beta$ -переходов при распаде  $^{147}\text{Eu}$ . Для регистрации  $\gamma$ -лучей в [1] использовался сцинтилляционный  $\text{NaI(Tl)}$ -спектрометр.

В настоящей работе на примере исследований  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений при распаде  $^{154}\text{Eu}$  разработан метод анализа результатов указанным вторым способом и проводится оценка его возможностей.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Исследования выполнены на двух установках  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений /а и б/.

а/ В первой установке [2] использован безжелезный тороидальный  $\beta$ -спектрометр типа "Апельсин". Разрешающая способность спектрометра  $\Delta H/H \approx 1\%$  при светосиле  $T = 20\%$ . Для регистрации спектров  $\gamma$ -лучей применялся  $\gamma$ -спектрометр с  $\text{Ge(Li)}$ -

-детектором объемом  $35 \text{ см}^3$ . Разрешение спектрометра  $\Delta E_{\gamma} = 3,5 \text{ кэВ}$  на линии  $1330 \text{ кэВ } ^{60}\text{Co}$ . Использована схема быстро-медленных совпадений. Разрешающая способность была установлена  $2\tau_0 = 50 \text{ нс}$ .

6/ Во второй установке<sup>3/</sup> для регистрации и анализа  $\beta$ -спектров применялся спектрометр с  $\text{Si(Li)}$ -детектором. Разрешающая способность спектрометра  $\Delta E_e = 0,9 \text{ кэВ}$  при энергии электронов  $100 \text{ кэВ}$ ; расстояние от источника до детектора  $50 \text{ мм}$ , при этом телесный угол детектора  $\Omega_{\text{геом}} = 4,7\%$  от  $4\pi$ . Использован  $\gamma$ -спектрометр с  $\text{Ge(Li)}$ -детектором объемом  $40 \text{ см}^3$  с разрешением  $\Delta E_{\gamma} = 2,8 \text{ кэВ}$  на линии  $1330 \text{ кэВ}$ . Расстояние источник - детектор -  $60 \text{ мм}$ . Временное разрешение установки быстро-медленных совпадений  $2\tau_0 = 100 \text{ нс}$ .

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлены электронные спектры при распаде  $^{154}\text{Eu}$ , измеренные на магнитном /а/ и полупроводниковом /б/  $\beta$ -спектрометрах. Над осью абсцисс отмечены участки  $\beta$ -спектра, выбранные для измерений совпадений с  $\gamma$ -лучами. Для магнитного спектрометра относительная ширина участков постоянна ( $\frac{\Delta E_{\beta}}{E_{\beta}} = \text{const}$ ), для полупроводникового спектрометра ширина участков указана на рисунке. Участки выбирались так, чтобы они не совпадали с положением линий конверсионных электронов заметной интенсивности.

На рис. 2 представлены некоторые спектры  $\gamma$ -лучей  $^{154}\text{Eu}$ , совпадающих с выбранными участками  $\beta$ -спектра. Там же для сравнения приведены одиночные спектры  $\gamma$ -лучей. Учет случайных совпадений производился по спектрам совпадений, измеренным при введении в "стартовые" каналы схем совпадений задержки  $t_{\text{зад}} \gg 2\tau_0$ . Обработка  $\gamma$ -спектров совпадений проводилась по программе "КАТОК" на ЭВМ ЕС-1010 с учетом эффективности регистрации  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектрометров. Интенсивности фотопиков нормировались к одинаковому времени и к одинаковым энергетическим интервалам в  $\beta$ -спектре. Полученные таким образом данные обрабатывались на ЭВМ CDC-6500 с применением программы "BETARZ" /4/ для спектров, полученных с помощью установки "а", и программы "BETAT" - для спектров, измеренных на установке "б". Программа "BETAT" вычисляет ординаты  $y_i^{\text{эксп}} = \sqrt{\frac{N_i}{E_i p_i F(E_i, Z)}}$  графика

Ферми-Кюри и ошибки, подгоняет к этим значениям функцию  $y_i = \alpha(E_i - E_0)$  по методу наименьших квадратов, определяет значения параметров  $\alpha$  и  $E_0$  с погрешностью, и на основе этих параметров вычисляет площадь  $S = \sum (E_{\beta})_i F(E_i, Z) \cdot \alpha^2 (E_i - E_0)^2$  расщепления  $N_i = f(E_i)$ , пропорциональную интенсивности соответствующего бета-перехода.

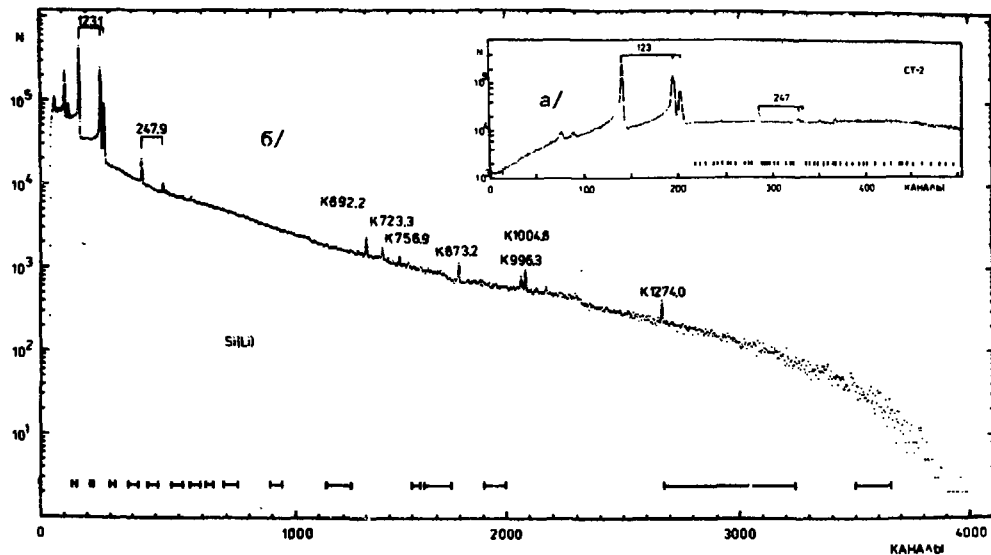


Рис.1. Расположение "окон" в  $\beta$ -спектре  $^{154}\text{Eu}$ , с которыми измерялись  $\gamma$ -спектры совпадений а/ тороидальный  $\beta$ -спектрометр, б/ Si(Li) -полупроводниковый  $\beta$ -спектрометр.

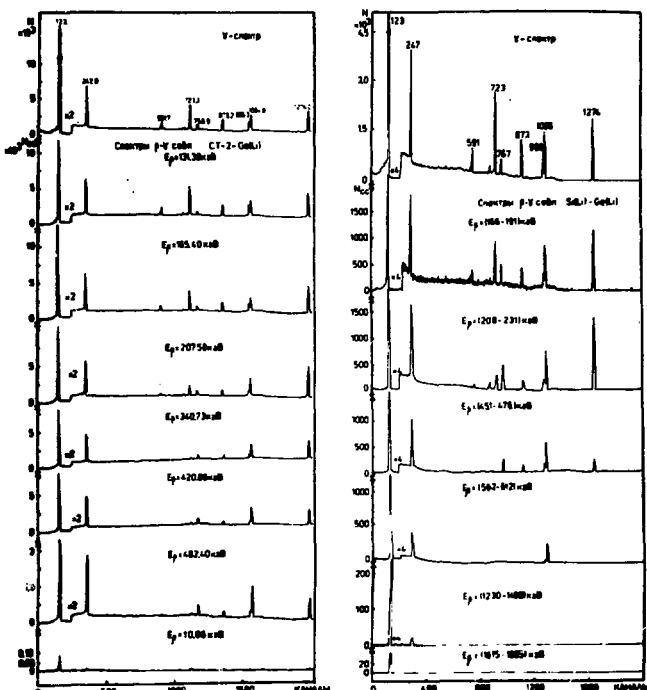


Рис. 2. Примеры  $\gamma$ -спектров в совпадениях с выбранными интервалами  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$ . Средние энергии выбранных интервалов указаны над спектрами. Вверху одиночные  $\gamma$ -спектры. Слева - измерения с установкой "а", справа - с установкой "б".

На рис. 3 и 4 для примера приведены некоторые графики Ферми-Кюри, построенные по интенсивностям фотопиков в спектрах совпадений с выбранными участками  $\beta$ -спектра. Указанные ошибки в положении точек на графиках включают в себя статистические ошибки площадей фотопиков, погрешности калибровки спектрометров по энергии и эффективности и ошибки в определении значений  $E_i$ ,  $p_i$ ,  $F(E_i, Z)$ . Видно, что спектры  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений существенно проще  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$ ;  $\beta$ -спектр  $^{154}\text{Eu}$  содержит 5 компонент  $^{5/2}$ ; приведенные /рис. 3, 4/ спектры  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений - от одной до трех компонент. Для перехода от интенсивностей компонент  $\beta$ -спектров, полученных при изучении  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений, к относительным интенсивностям  $\beta$ -переходов при распаде изучаемого ядра необходимы сведения о схеме распада. Требуется данные о коэффициентах ветвления  $\gamma$ -переходов

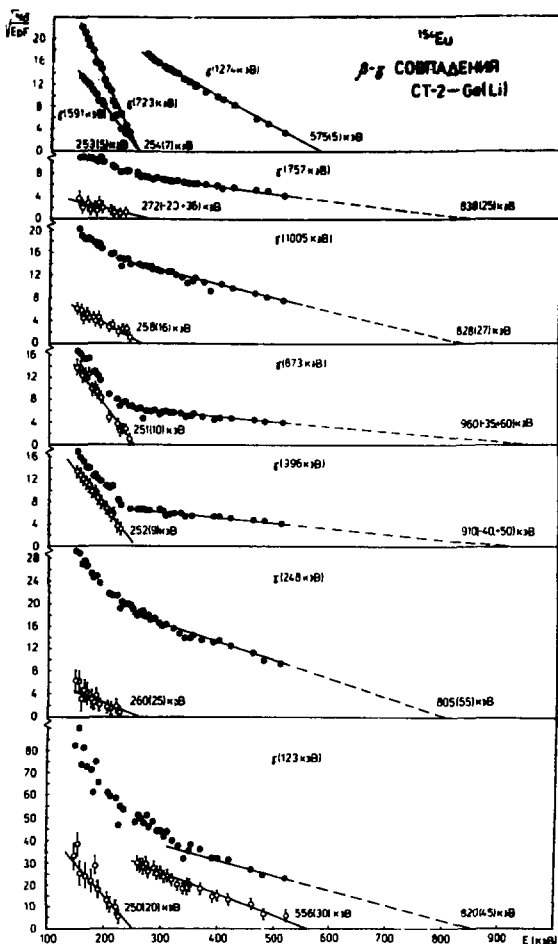


Рис.3. Графики Ферми-Кюри, построенные на основе результатов анализа  $\gamma$ -спектров совпадений с участками  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$  на тороидальном  $\beta$ -спектрометре. Указаны энергии  $\gamma$ -лучей, по интенсивностям которых строились графики, и полученные граничные энергии компонент  $\beta$ -спектра.

на уровнях дочернего ядра, для мягких  $\gamma$ -переходов - полные коэффициенты конверсии. В случае  $^{154}\text{Eu}$  имеется  $^{5/5}$  достаточно полная схема распада. Полученные на установке "а" данные об

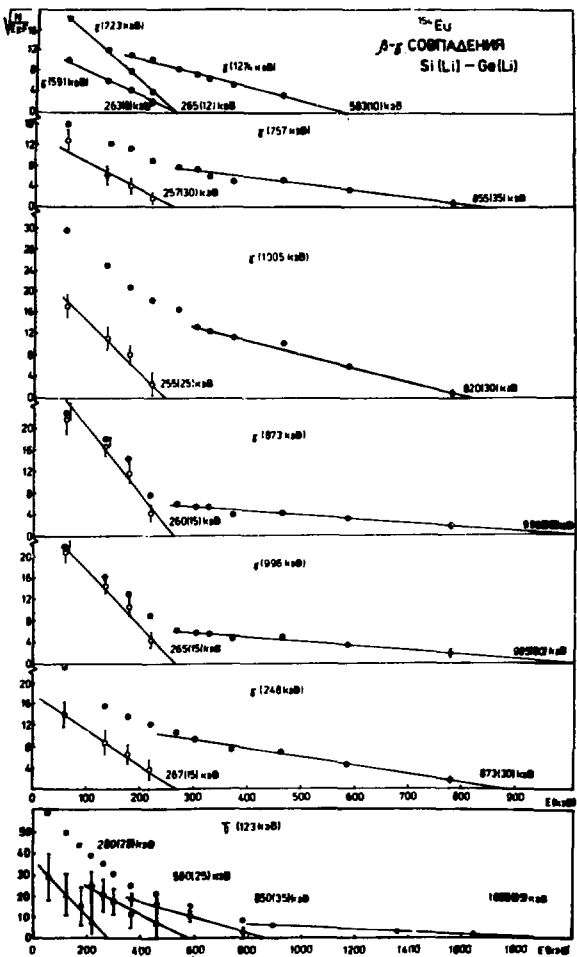


Рис.4. То же, что на рис.3 для  $\beta$ -спектрометра с Si(Li) -детектором.

интенсивностях компонент обработаны с учетом указанных сведений о распаде  $^{154}\text{Eu}$ , вычисленные относительные интенсивности компонент  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$  приведены в табл.1. Возможен другой способ обработки результатов  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений. Интенсивность в спектре  $\beta$ -компоненты, заселяющей некоторый уровень  $K$  дочернего ядра, можно определить следующим образом:

$$I_K(E_\beta) = [I_{\gamma p}(E_\beta) \epsilon_{\gamma p}(1 + a_p) / I_p - \sum_i I_{\gamma z}(E_\beta) \epsilon_{z i}(1 + a_{z i})] \epsilon(E_\beta),$$

где  $I_K(E_\beta)$  - интенсивность компоненты  $\beta$ -спектра, заселяющей уровень  $K$ , при энергии электронов  $E_\beta$ .  $I_{\gamma p}(E_\beta)$  - интенсивность фотопика, разряжающего уровень  $K$ , при выбранной для  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений энергии  $E_\beta$ .  $I_{\gamma z}(E_\beta)$  - то же для фотопиков, заселяющих уровень  $K$  /учитывается только прямое заселение уровня  $K$  /

$$f_p = \frac{I_{\gamma p}(1 + a_p) \epsilon_{\gamma p}}{\sum_i I_{\gamma p_i}(1 + a_{p_i}) \epsilon_{\gamma p_i}}$$

- фактор ветвления разряжающего  $\gamma$ -перехода,  $a$  - полные КВК соответствующих  $\gamma$ -переходов.  $\epsilon_{\gamma p}$ ,  $\epsilon_{\gamma z}$  - эффективности  $\text{Ge(Li)}$   $\gamma$ -спектрометра для соответствующих  $\gamma$ -лучей.  $\epsilon(E_\beta)$  - эффективность  $\beta$ -спектрометра при энергии  $E_\beta$ .

По вычисленным точкам  $I_K(E_\beta)$  строится фермиевская форма спектра. Полученная кривая является компонентой, заселяющей уровень  $K$ , а ее площадь - мерой относительной интенсивности этой компоненты. Таким образом, были обработаны результаты, полученные на установке "Б" /см. табл.1/.

В случае неизвестной схемы распада данные о граничных энергиях компонент  $\beta$ -спектра следует прежде всего использовать для построения схемы уровней дочернего ядра, учитывая при этом имеющиеся данные о  $\beta$ - $\gamma$ -совпадениях. После построения схемы уровней можно приступить к вычислению интенсивностей компонент  $\beta$ -спектра.

В табл.1 представлены полученные в проведенных исследованиях значения граничных энергий и интенсивностей компонент  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$ .

В табл.2 они сравниваются с литературными данными. Рассмотрение таблиц 1 и 2 показывает, что все отдельные полученные нами значения граничных энергий и интенсивностей компонент  $\beta$ -спектра в пределах экспериментальных погрешностей хорошо согласуются между собой и ранее известными значениями. Средневзвешенные значения позволяют уточнить граничные энергии и относительные интенсивности  $\beta$ -переходов на уровни 996, 1128, 1398 и 1720 кэВ  $^{154}\text{Gd}$ . Полученное значение разности масс  $Q_\beta = 1974/3/$  кэВ для распада  $^{154}\text{Eu} \rightarrow ^{154}\text{Gd}$ , хорошо согласуется с ранее известными  $Q_\beta = 1978/5/$  кэВ $^{10/}$  и  $1967/2/$  кэВ $^{11/}$ .



Таблица I

Результаты измерений граничных энергий и интенсивностей компонент  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$

№	E <sub>уровня</sub> (кэВ)	E <sub>γ</sub> (кэВ)	Граничная энергия β-перехода (кэВ)			Интенсивность β-перехода (%)		
			установка "а"	установка "б"	Среднее взвешенное	установка "а"	установка "б"	Среднее взвешенное
1	I720	I23	250(20)	280(25)	257(3)	25,3(33)	23,3(50)	24,9(12)
		248	260(25)	267(15)		25,0(27)	29,6(56)	
		591	254(7)	265(12)		24,2(19)	27,0(45)	
		723	253(5)	263(8)		24,1(13)	26,7(30)	
		757	272(-20,+36)	257(30)		25,5(83)	25,6(61)	
		873	251(10)	260(15)		25,1(24)	26,7(58)	
		996	252(9)	265(15)		24,7(24)	25,5(49)	
		1005	258(16)	255(25)		26,4(36)	26,7(57)	
2	I398	I23	556(30)	580(25)	576(5)	36,0(72)	33,8(50)	34,2(20)
		I274	575(5)	583(10)		34,7(24)	32,6(42)	
3	II28	I23	820(45)	850(35)	839(11)	19,7(30)	22,4(74)	20,6(14)
		248	805(55)	873(30)		22,1(47)	21,5(39)	
		757	838(25)	855(35)		20,8(20)	21,4(34)	
		1005	828(27)	820(30)		19,8(16)	21,6(30)	
4	996	873	960(-35,+60)	998(55)	952(31)	6,7(10)	6,4(15)	6,2(8)
		996	910(-40,+50)	985(60)		6,4(10)	5,7(10)	
5	I23	I23	-	I835(35)	I835(35)	-	I3,3(15)	I3,3(15)

Таблица 2

Сравнение результатов измерений граничных энергий и интенсивностей компонент  $\beta$ -спектра  $^{154}\text{Eu}$  с данными более ранних работ

№	Настоящая работа		Работа /6/		Работа /7/		Работа /8/		Работа /9/	
	$E_{\beta_i}$ (кэВ)	$I_{\beta_i}$ (%)	$E_{\beta_i}$ (кэВ)	$I_{\beta_i}$ (%)	$E_{\beta_i}$ (кэВ)	$I_{\beta_i}$ (%)	$E_{\beta_i}$ (кэВ)	$I_{\beta_i}$ (%)	$E_{\beta_i}$ (кэВ)	$I_{\beta_i}$ (%)
1	257(3)	24,9(12)	246(30)	28	275(15)	20			274(10)	29,1(25)
2	576(5)	34,2(20)	554(30)	30	590(40)	45			579(5)	38(4)
3	839(11)	20,6(14)	833(30)	20	890(15)	23			843(15)	17(4)
4	952(31)	6,2(8)	-	-	-	-	970	6	976(30)	4,6(38)
5	1835(35)	13,3(15)	1842(30)	7	1860(20)	12	1845(10)	9,2(15)	1866(12)	10,8(12)

Таким образом, проведенные исследования показывают целесообразность получения информации о  $\beta$ -переходах из анализа спектров  $\gamma$ -лучей в совпадениях с  $\beta$ -электронами. В случае  $^{164}\text{Eu}$  в несколько раз повышена скорость набора информации и в "относительно" короткое время получены данные, несколько уточняющие более ранние измерения<sup>/6,9/</sup>. Использование этой методики с применением спектрометров высокой эффективности и проведение измерений в многомерном режиме в линию с ЭВМ позволит успешно исследовать  $\beta$ -переходы при распаде короткоживущих ядер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Adam I., Mayer R.A., Toth K.S. Phys.Rev., 1967, 159, p.985.
2. Кузнецов В.В. и др. ОИЯИ, P13-12810, Дубна, 1979.
3. Будзынский М. и др. ОИЯИ, P13-13021, Дубна, 1980.
4. Крецу Т., Кузнецов В.В., Макари Г. Rev.Roum.Phys., 1977, 22, p.973; ОИЯИ, P6-10183, Дубна, 1976.
5. Harnatz B. Nucl. Data Sheets, 1979, 26, p.281.
6. Cork J.M. et al. Phys.Rev., 1957, 107, p.1621.
7. Bhattacharjee S.K., Roman S., Mitra S. Proc. Indian Acad. Sciences, 1958, 47, p.295.
8. Hansen P.G., Nielsen H.L., Wilsky K. Nucl.Phys., 1966, 89, p.571.
9. Ng L.K., Mann K.C., Walton T.G. Nucl.Phys., 1968, A116, p.433.
10. Langer L.M., Smith D.R. Phys.Rev., 1960, 199, p.4.
11. Ramaniah K.V., Raji R., Reddy K.V. Indian J. Pure and Appl. Phys., 1977, 15, p.41.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 января 1981 года.