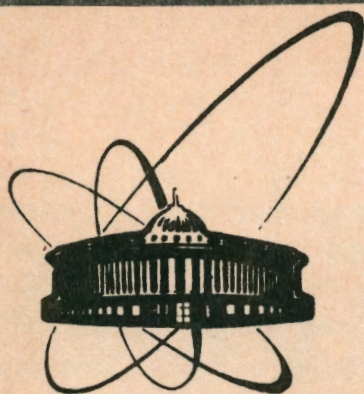


92-148



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Р6-92-148

Э.В.Васильева, А.В.Воинов, В.Д.Кулик, Ю.П.Попов,  
А.М.Суховой, В.А.Хитров, Ю.В.Хольнов, В.Н.Шилин

НОВЫЙ СПОСОБ ВЫЧИТАНИЯ  
КОМПТОНОВСКОГО ФОНА  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ  $\gamma\gamma$ -СОВПАДЕНИЙ  
МЕТОДОМ СУММИРОВАНИЯ АМПЛИТУД  
СОВПАДАЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

Направлено в Оргкомитет 42 Международной конференции  
по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра,  
г. Алма-Ата, апрель 1992 г.

1992

Метод  $\gamma\gamma$ -совпадений с суммированием амплитуд совпадающих импульсов (метод САСИ), развитый в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ для исследований разрядки компаунд-состояний ядер [1], возбуждаемых при захвате нейтронов (реакция  $(n, 2\gamma)$ ), недавно применен также и для изучения распада радиоактивного ядра  $^{170}\text{Lu}$  [2].

Метод состоит в выделении двухквантовых каскадов с одинаковой суммарной энергией, т.е. каскадов между двумя энергетическими состояниями ядра (в реакции  $(n, 2\gamma)$  одно из них - компаунд-состояние). Измерение спектров  $\gamma$ -лучей, составляющих такие каскады, позволяет определять положение промежуточных (а в случае радиоактивного распада - и исходных) уровней ядра и однозначно размещать  $\gamma$ -переходы в схеме распада.

Способ вычитания фона, создаваемого импульсами комптоновских распределений, описан в работе [3]. Фон состоит из двух компонентов:

- 1) непрерывное распределение;
- 2) распределение в виде структур из трех пиков, один из которых имеет положительную, два - отрицательную (в общем случае) амплитуду. Природа этих структур будет рассмотрена ниже.

Первый компонент вычитается полностью. Второй применяемая в [3] методика исключить из спектра не позволяет. Между тем указанные структуры затрудняют анализ спектра и в определенных условиях могут быть приняты за исследуемые каскады. С другой стороны, так как эти структуры располагаются в дифференциальных спектрах случайным образом, они могут поглощать истинные линии. Искажения спектров растут

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

с уменьшением суммарной энергии исследуемых каскадов  $E_{\Sigma}$  так, что при  $Q - E_{\gamma} \geq 1$  МэВ, где  $Q$  - энергия распада, измерения становятся невозможными.

В настоящей работе описан способ, позволяющий исключить и второй компонент фона.

Работа проведена при исследовании сложного распада  $^{170}\text{Lu} \rightarrow ^{170}\text{Yb}$ , в котором проявляются более 600  $\gamma$ -переходов. На рис.1 показан спектр сумм значений энергии двухквантовых каскадов распада  $^{170}\text{Lu}$ . Каждому пику на этом рисунке (а многие из них - сложные, состоят из неразрешенных пиков, соответствующих близким значениям энергии верхних уровней, с которых идут каскады) соответствует дифференциальный спектр - спектр  $\gamma$ -лучей, составляющих двухквантовые каскады с одинаковой суммарной энергией, равной энергии данного пика сумм. Для  $^{170}\text{Lu}$  получено 70 таких спектров. На рис.4а приведен один из них для суммарной энергии  $E_{\Sigma} = 2732$  кэВ. Симметричные относительно середины спектра пики попарно соответствуют различным каскадам.

Рассмотрим природу указанных фоновых структур и способ их вычитания.

На рис.2 условно изображены два пика САСИ - рассматриваемый нами пик "i" и пик большей энергии "j", расположенные на комптоновском распределении, которое дает непрерывный фоновый спектр сумм. Нужная нам информация о каскадах содержится в пике i, в участке над пунктиром, под ним - фон, который нужно вычесть. Выделим две (заштрихованные) полосы по обе стороны пика, сумма ширины которых равна ширине участка фона под пиком. Спектральный состав заштрихованных участков практически такой же, как и фона под линией. Поэтому вычитание заштрихованных участков эквивалентно вычитанию фона. Это предположение оправдывается, и на рис.4 видно, что ось абсцисс совпадает с нулем по ординате.

Однако видны многочисленные структуры, существенно отличающиеся по форме от  $\gamma$ -линий. Появление этих структур поясняет рис.3.

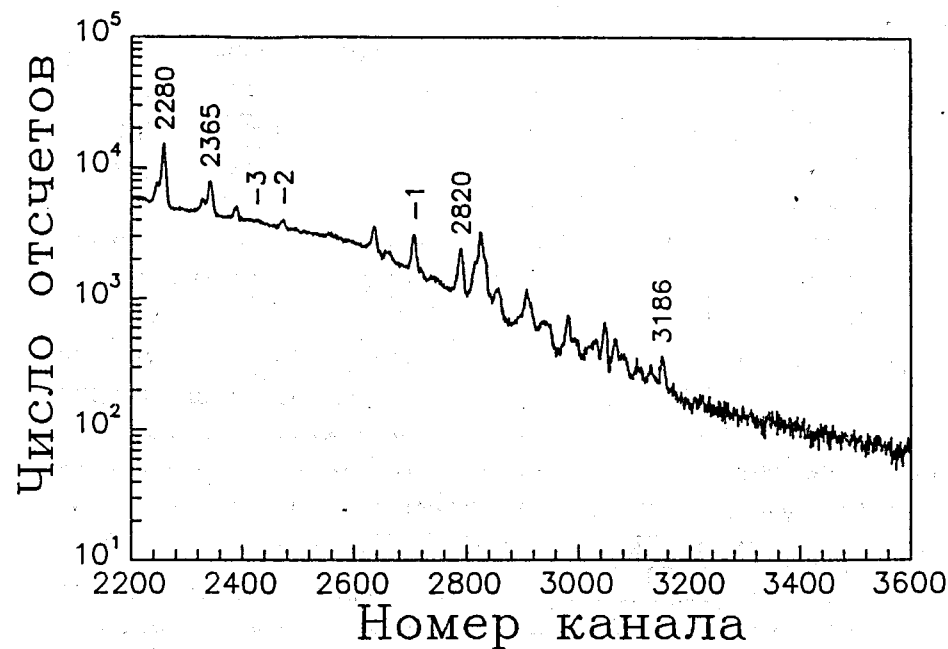


Рис.1. Спектр амплитуд совпадающих импульсов для распада  $^{170}\text{Lu} \rightarrow ^{170}\text{Yb}$ . Стрелками обозначены участки спектра, для которых построены дифференциальные спектры каскадов: 1)  $E_{\Sigma} = 2732$  кэВ (рис.4), 2)  $E_{\Sigma} = 2498$  кэВ (рис.5) и 3) участок спектра САСИ 2430-2443 кэВ (рис.6).

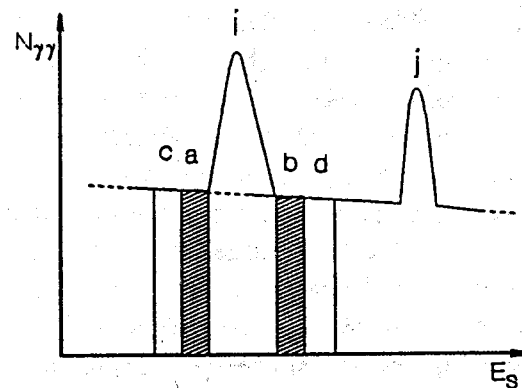


Рис.2. Схематическое изображение участка спектра САСИ с линией i, для которой производится вычитание фона, и j - линией большей энергии.

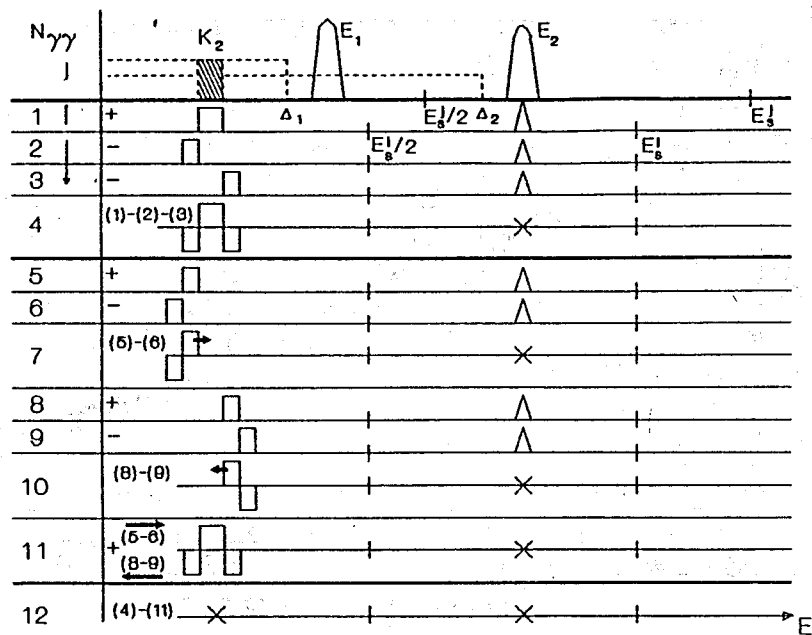


Рис.3. Причины возникновения и способ вычитания фоновых структур в дифференциальных спектрах  $\gamma\gamma$ -совпадений.

На участке  $j$  изображены две  $\gamma$ -линии одного из каскадов, входящих в пик сумм  $j$ . Пунктиром условно обозначены комptonовские распределения для этих двух линий. При установке детекторов на сумму  $E_S^j$  регистрируются, естественно, только указанные два пика полного поглощения, расположенные симметрично относительно  $E_S^j/2$ . Любые суммы значений энергии участков комptonовских распределений меньше, чем значение  $E_S^j$ , и не регистрируются. (Мы останавливаемся для примера лишь на одном из многих каскадов пика  $j$ ). При установке регистрации на сумму  $E_S^1 < E_S^j$ , кроме регистрации пар  $\gamma$ -линий, соответствующих энергии  $E_S^1$ , могут регистрироваться, например, совпадения  $\gamma$ -линии  $E_2$  с участком  $k_2$  комptonовского распределения от линии  $E_1$ , расположенным симметрично пику  $E_2$  относительно энергии  $E_S^1/2$ . В этом случае мы получили бы (если считать, что непрерывный фон вычтен) картину, изображенную на

участке I. Линия  $E_2$ , естественно, остается на своем месте (как и во всех последующих операциях).

При установке ворот (рис.2) слева от пика сумм  $i$  (а) вырезаемый из комptonовского распределения участок сместится влево. Он будет иметь форму прямоугольника вдвое меньшей ширины. При этом положение линии  $E_2$  не изменится, а ее площадь уменьшится вдвое.

Аналогичный результат имеем и для правого участка (б). В этом случае вырезаемый из комptonовского распределения участок сместится вправо.

Результат вычитания фона дается на участке 4. Слева — структура, подобные которой видны на рис.4а. Справа происходит полное вычитание  $\gamma$ -линии, поскольку она не смещается. Этот способ вычитания фона использовался во всех работах, выполненных методом САСИ.

Все дальнейшие процедуры (5–II) позволяют избавиться от структуры (4).

Будем считать участок "а" рис.2 эффектом, а участок "с" (такой же ширины) — фоном. Результат операции, аналогичной вышеизложенной, есть фигура участка 7, сдвинутая влево от центра на ширину "а". Соответственно результат для фонового участка "б" дан в полосе 10. Полученная фигура сдвинута вправо от центра на ширину "б".

Легко видеть, что, если сдвинуть фигуру 7 вправо на "а", а фигуру 10 влево на "б" и сложить их, то получим фигуру 11, тождественную основной фигуре 4 — результату используемого ранее способа вычитания фона. Если теперь из "4" вычесть "11", получим ноль (участок 12). Таким образом, мешающая нам фигура исчезает.

Смещению фигур 7 и 10 соответствует сдвиг всей шкалы дифференциального спектра на соответствующее число каналов. Решающим обстоятельством является то, что на участках 7 и 10  $\gamma$ -линия  $E_2$  отсутствует. Если бы она не была заранее вычтена, (как на участках 2,3), то произошел бы сдвиг  $\gamma$ -линии в разных направлениях. В результате остался бы фон, связанный с самой

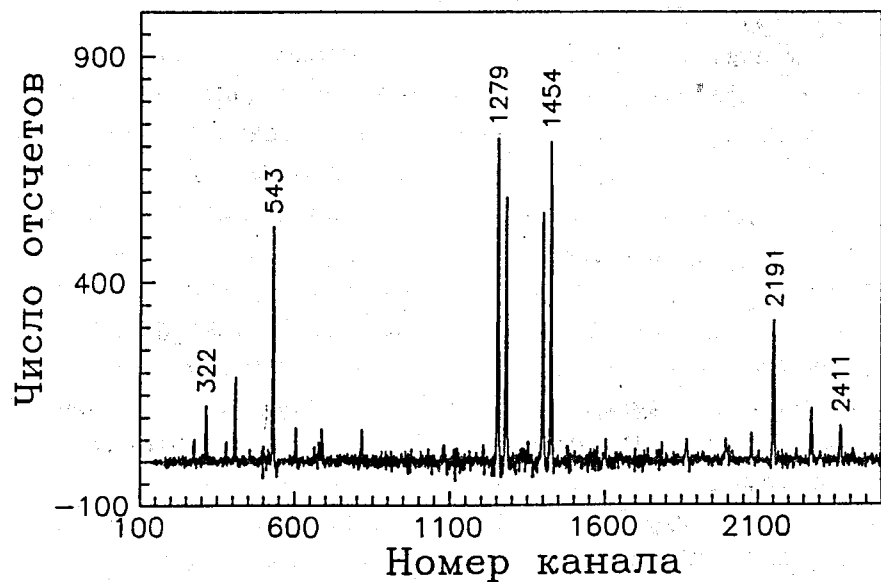
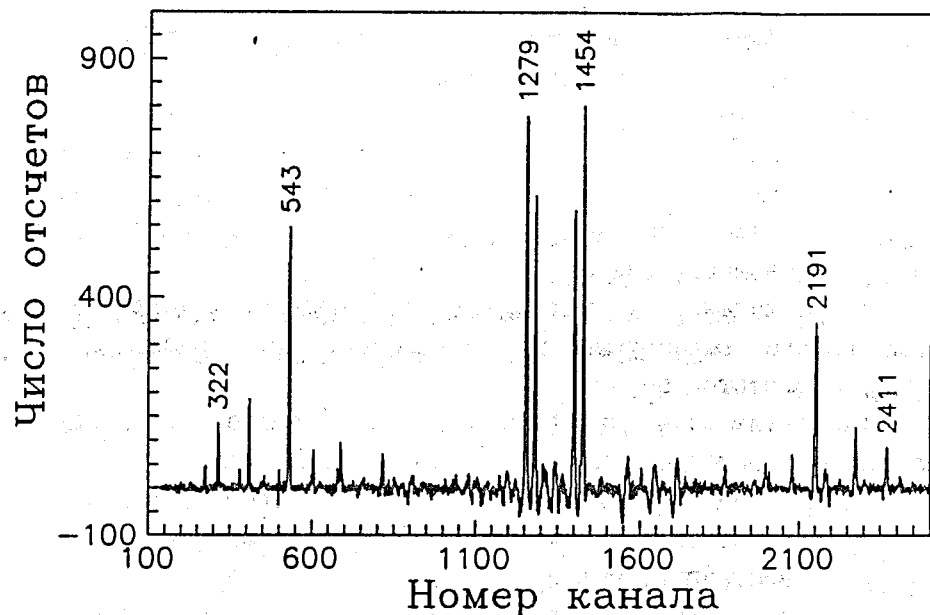


Рис.4. Спектр  $\gamma$ -лучей двухквантовых каскадов, соответствующих пику 2732 кэВ в спектре САСИ (рис.1): а) после ранее используемого способа вычитания фона; б) после нового способа вычитания фона. Стрелками показаны наиболее интенсивные фоновые структуры.

$\gamma$ -линей и представляющий из себя структуру, аналогичную 4, но на противоположном участке спектра.

Именно поэтому нельзя произвести до вычитания (4) сдвиг фона (2) вправо, а фона (3) влево.

Мы провели указанные операции для трех участков кривой спектра сумм, указанных стрелками на рис.1.

На рис.4а показан дифференциальный спектр для пика суммарной энергии 2732 кэВ. В этом случае фон вычитался ранее используемым способом (позиции 1-4 на рис.3). Кроме очевидных линий каскадов, симметричных относительно центра, ясно видны 18 фоновых структур.

После проведения операций (5-12) мы получили спектр рис.4б. Все фоновые структуры исчезли полностью.

Та же ситуация ярко демонстрируется рис.5а и б, на которых приведен дифференциальный спектр для суммарной линии 2498 кэВ. ("2" на рис.1) Фоновая структура рис.5а на рис.5б ликвидирована полностью.

Особенно впечатляющим является участок спектра сумм в интервале 2430-2443 кэВ. Из рис.1 ("3") видно, что на этом участке нет пика САСИ, нет никаких каскадов. На рис.6а мы действительно видим только более 25 фоновых структур.

Это понятно, поскольку  $\gamma$ -линии, дающие совпадения в каскадах с большими значениями  $E_{\gamma}$ , могут создавать указанные структуры и на комптоновских участках. Очищенный спектр, не содержащий каскадов, дается на рис.6б.

Оставшийся разброс точек на рис.4, 5, 6 (б) носит статистический характер. Естественно, этот разброс несколько увеличивается, что происходит в результате второго вычитания фона в строгом соответствии с законами статистики.

Указанный разброс точек может быть уменьшен, например, увеличением времени измерений или эффективности детекторов, а фоновые структуры не могут быть ликвидированы ничем, кроме описанного нами усложненного способа вычитания фона.

Разумеется, указанные фоновые структуры инициируются также и  $\gamma$ -линиями типа  $E_{\Gamma}$ , но в противоположной части

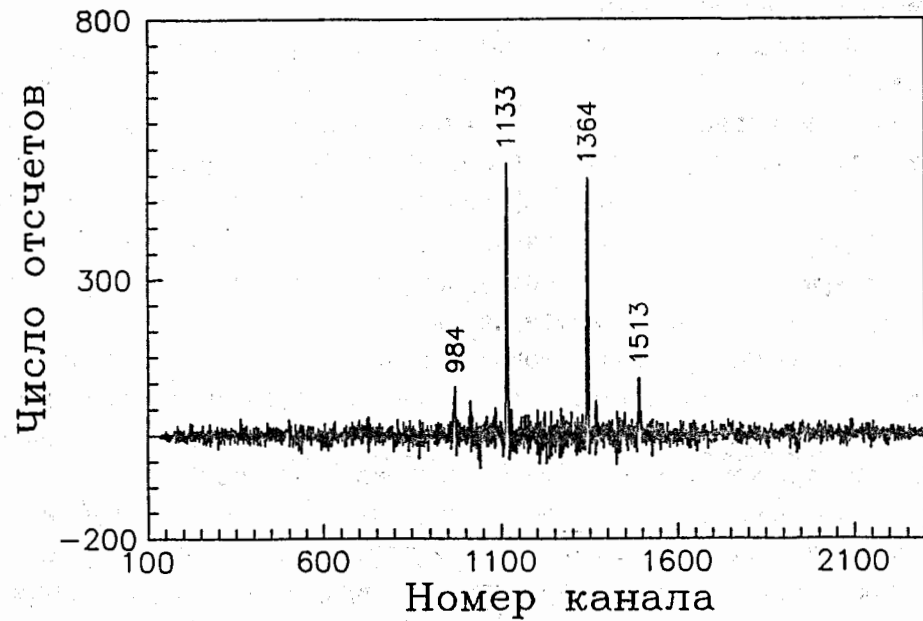
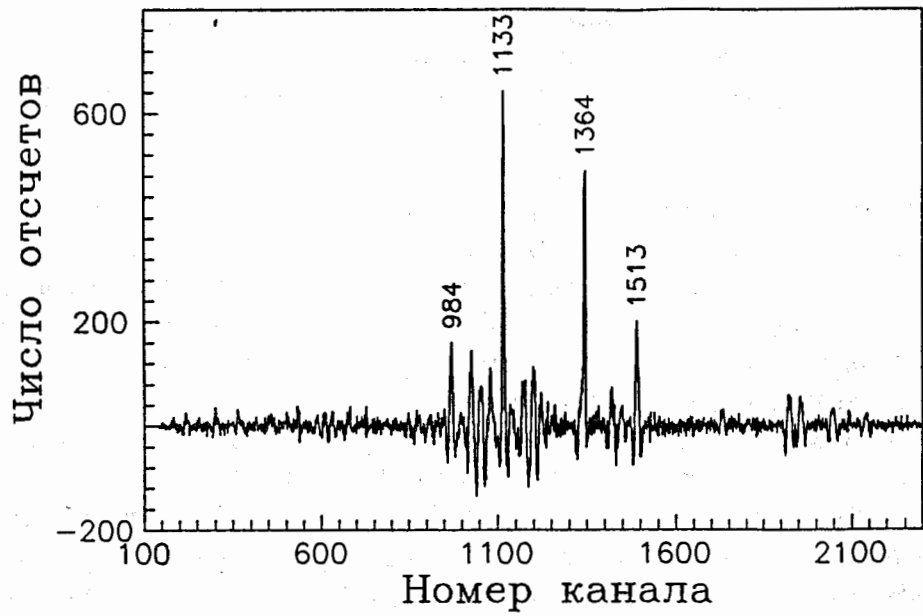


Рис.5. То же, что на рис.4, для  $E_s = 2498$  кэВ.

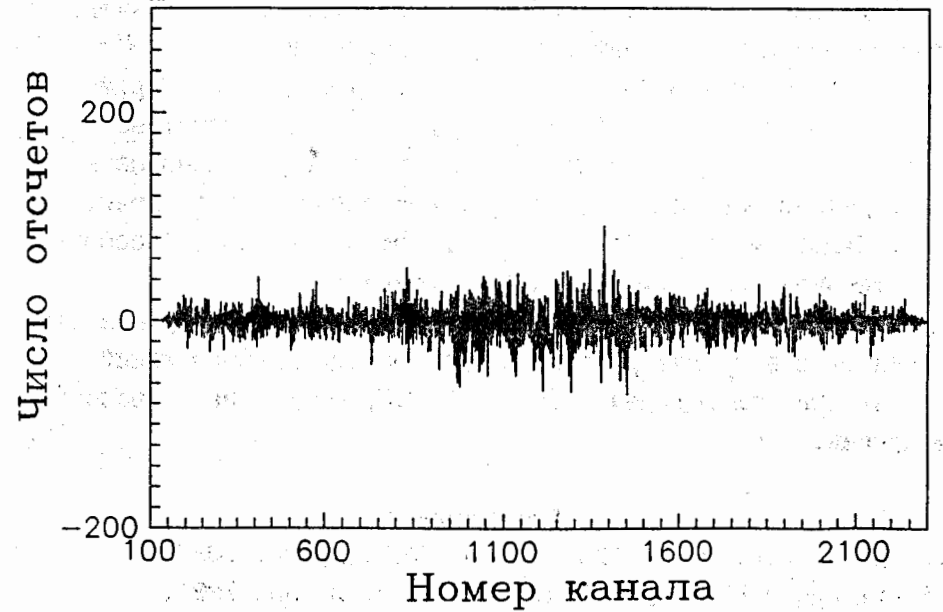
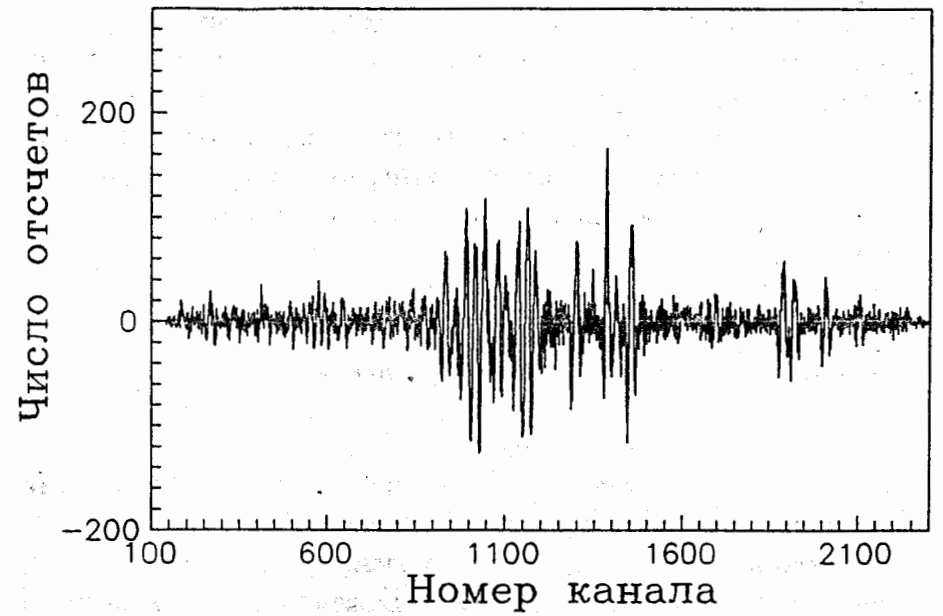


Рис.6. То же, что на рис.4, для участка спектра САСИ 2430-2443 кэВ.

спектра. Существенно то, что для ликвидации левых и правых фоновых структур необходим сдвиг шкал в одну и ту же сторону для обеих частей спектра.

Не все  $\gamma$ -линии из спектра  $j$  могут образовывать фоновые структуры в спектрах  $i$  меньшей суммарной энергии. Имеются энергетические ограничения, которые можно записать следующим образом:

$$\text{для } E_1: E_s^i - E_2 + \Delta_2 < E_1 < E_s^i/2$$

$$\text{для } E_2: E_s^i - E_1 + \Delta_1 < E_2 < E_s^i \text{ при } E_s^i - E_s^j/2 > E_1 - \Delta_1$$

$$\text{и } E_s^j/2 < E_2 < E_s^i \text{ при } E_s^i - E_s^j/2 < E_1 - \Delta_1.$$

Здесь  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  - участки, свободные от комптоновских распределений для линий  $E_1$  и  $E_2$  соответственно.

В заключение отметим, что указанный усложненный способ вычитания фона при исследовании сложных схем  $\gamma$ -распада позволит исключить ложные каскады в спектрах и продвинуться в сторону меньших значений суммарной энергии каскадов.

Конечно, в подобных исследованиях желательно применять детекторы большой эффективности с антикомптоновскими устройствами. Однако полностью исключить комптоновские распределения невозможно, и рассмотренный метод вычитания фона будет иметь значение и в этом случае, особенно существенное при изучении слабых каскадов.

Можно надеяться, что рассмотренную методику удастся применить и в других разновидностях метода  $\gamma\gamma$ -совпадений.

Авторы благодарны проф. К.Я.Громову за полезные дискуссии.

#### Литература

1. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, Р15-82-706, Дубна, 1982.
2. Васильева Э.В. и др. ОИЯИ, Р6-91-568, Дубна, 1991, Изв. АН СССР, Сер. физ., 1991, т.56, с.2.
3. Бонева С.Т., Васильева Э.В., Сухойвой А.М. ОИЯИ, Р6-87-98, Дубна, 1987, Изв. АН СССР, Сер. физ., 1987, т.51, с.1882.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 апреля 1992 года.