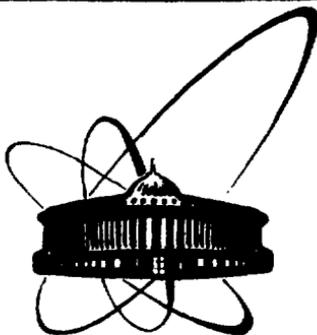


201 15140



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P6-92-148

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

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.

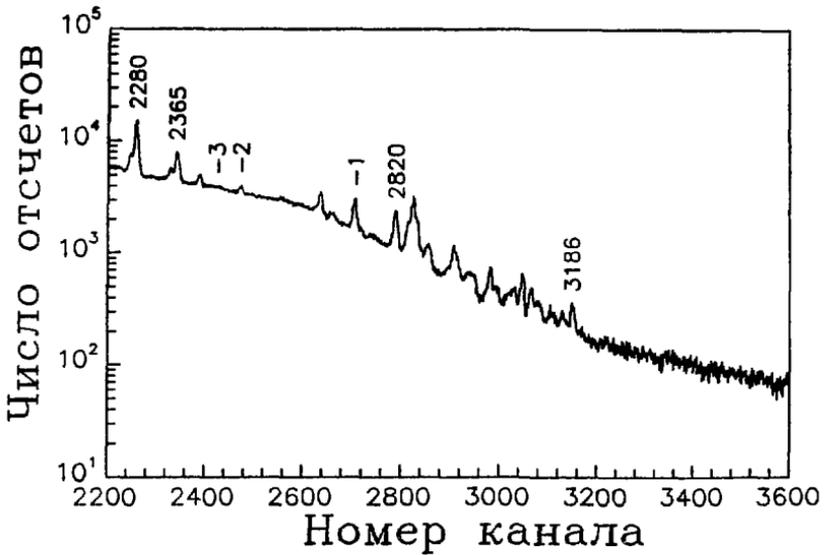


Рис.1. Спектр амплитуд совпадающих импульсов для распада  $^{170}\text{Lu} \rightarrow ^{170}\text{Yb}$ . Стрелками обозначены участки спектра, для которых построены дифференциальные спектры каскадов: 1)  $E_{\beta} = 2732$  кэВ (рис.4), 2)  $E_{\beta} = 2498$  кэВ (рис.5); и 3) участок спектра САСИ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

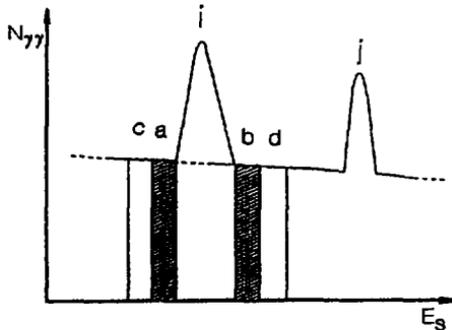


Рис.2. Схематическое изображение участка спектра САСИ с линией  $i$ , для которой производится вычитание фона, и  $j$  - линией большей энергии.

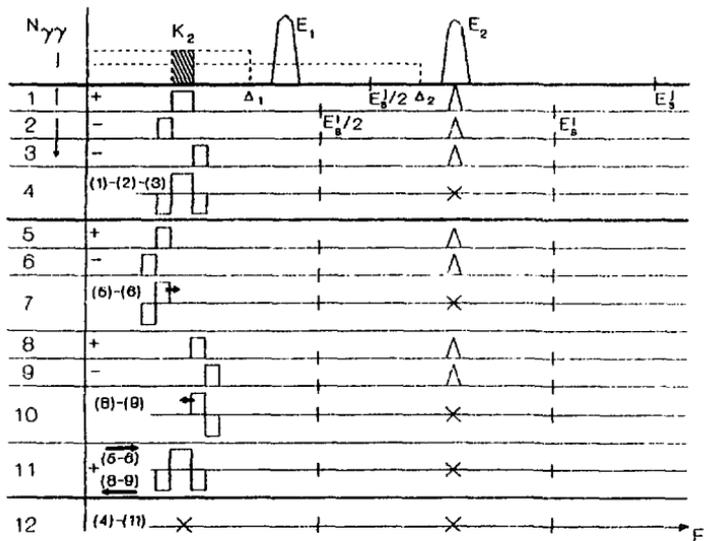


Рис.3. Причины возникновения и способ вычитания фоновых структур в дифференциальных спектрах  $\gamma\gamma$ -совпадений.

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  $E_S^i < E_S^j$ , кроме регистрации пар  $\gamma$ -линий, соответствующих энергии  $E_S^i$ , 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  $E_S^i/2$ . 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 комптоновского 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 комптоновского распределения участок сместится вправо.

Результат вычитания фона дается на участке 4. Слева - структура, подобная 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 II, тождественную основной фигуре 4 - результату используемого ранее способа вычитания фона. Если теперь из "4" вычтем "II", 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

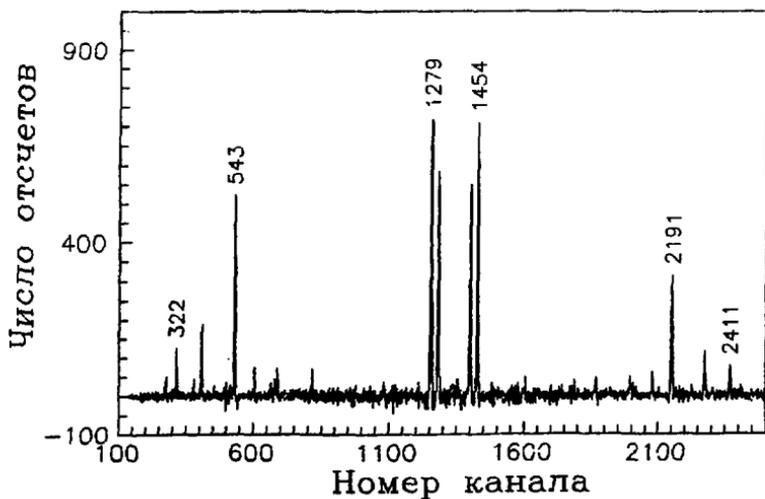
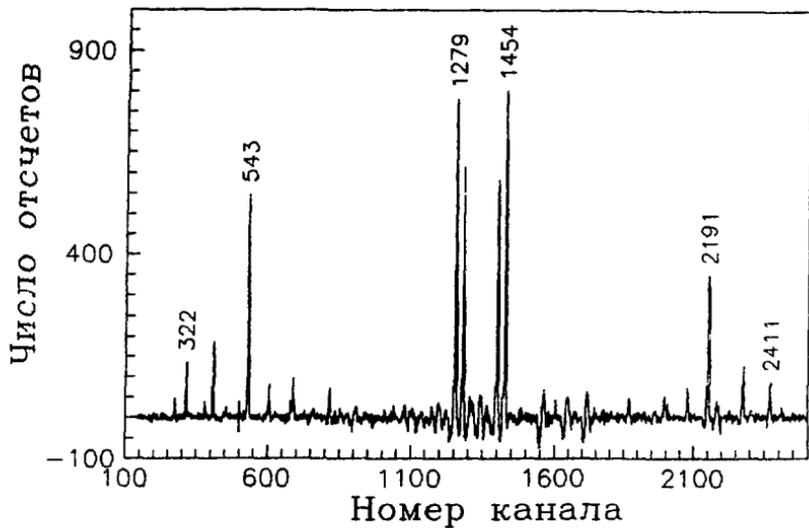


Рис.4. Спектр  $\gamma$  - лучей двухквантовых каскадов, соответствующих пику 2732 кэВ в спектре ЗАСИ (рис.1): а) после ранее используемого способа вычитания фона; б) после нового способа вычитания фона. Стрелками показаны наиболее интенсивные фоновые структуры.

линией 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 (позиция 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  $E_{\beta}$ , могут создавать указанные структуры и на комптоновских участках. Очищенный спектр, не содержащий каскадов, дается на рис.6б.

Остающийся 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

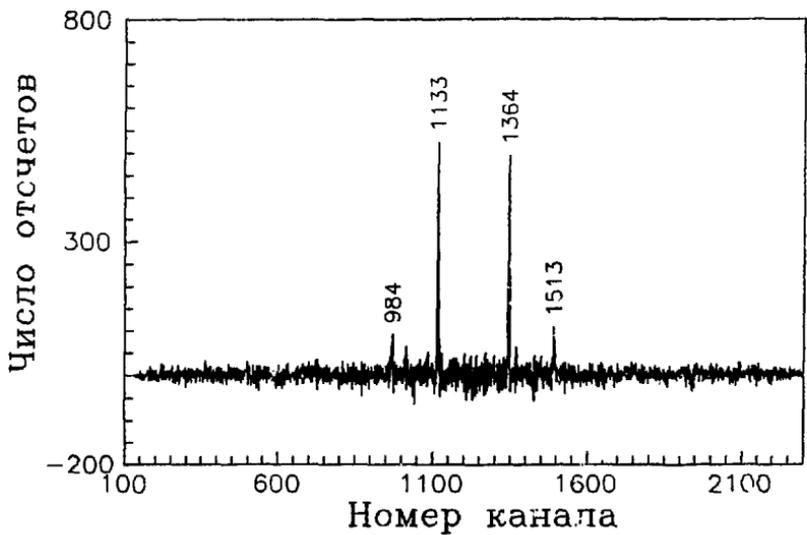
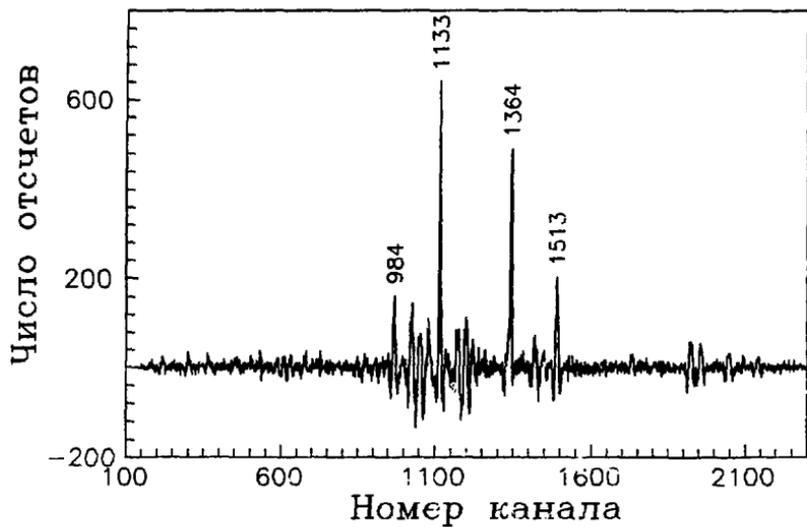


Рис.5. То же, что на рис.4, для  $E_0 = 2498$  кэВ.

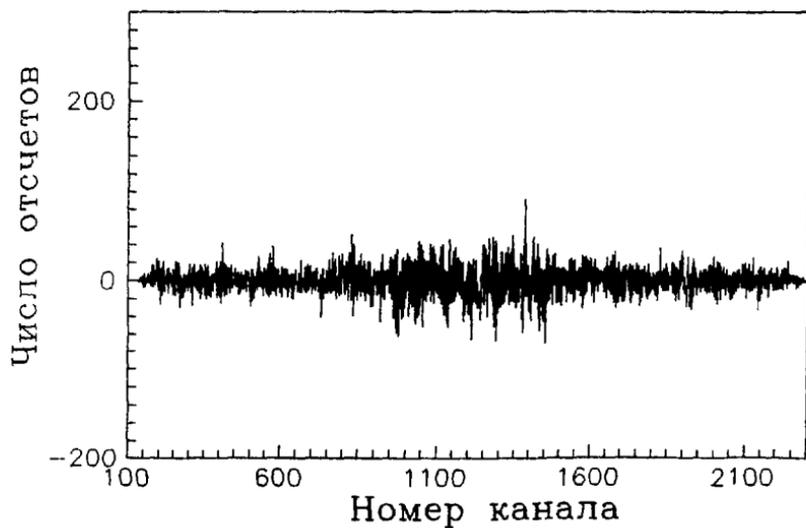
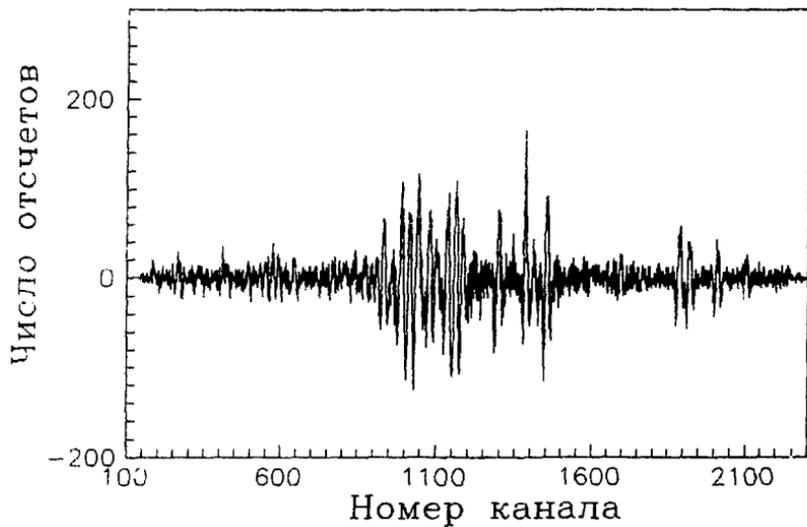


Рис.6. То же, что на рис.4, для участка спектра САСИ 2430-2443 кэВ.

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.Грому 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. Бонова С.Т., Васильева Э.В., Сухой 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.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д1,2-86-668	Труды 8 Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д3,4,17-86-747	Труды Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
Д2-87-798	Труды 8 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р.55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р.20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р.20 к.
Д17-88-681	Труды Международного совещания "Механизмы высокотемпературной сверхпроводимости". Дубна, 1988.	1 р.50 к.
Д13-88-938	Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988.	4 р.30 к.
Р2-89-138	Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988.	1 р.10 к.
Д4-89-221	Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988.	1 р.60 к.
Д9-89-52	Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 /2 тома/	14 р.35 к.
Д9-89-708	Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехин, ЧССР, 1989.	4 р.00 к.
Д7-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986.	4 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р.10 к.

Д9-89-801	Труды Международной школы молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1988	2 р.25 к.
Д7-90-142	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1989.	7 р.00 к.
Р2-90-245	Труды II семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1989.	1 р.70 к.
Д19-90-457	Труды рабочего совещания по исследованию механизма радиационно-индуцированного мутагенеза и репарации ДНК. Дубна, 1990.	4 р.00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного  
института ядерных исследований.

Васильева Э.В. и др.

P6-92-148

Новый способ вычитания комптоновского фона при исследованиях  $\gamma\gamma$ -совпадений методом суммирования амплитуд совпадающих импульсов

При вычитании комптоновского фона методом, описанным в препринте ОИЯИ P6-87-98, в дифференциальном спектре двухквантовых каскадов остаются фоновые структуры, затрудняющие интерпретацию спектров и уменьшающие в спектре САСИ энергетический интервал измерений. Обсуждается идея двухступенчатого вычитания фона. На примере распада  $^{170}\text{Lu}$  показано, что новый способ вычитания фона приводит к полному исчезновению указанных фоновых структур в дифференциальных спектрах.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

#### Перевод авторов

Vasilieva E.V. et al.

P6-92-148

The New Method of the Compton Background Subtraction in the Analysis of  $\gamma\gamma$ -Coincidences Measured by the Method of Sum Amplitudes of Coinciding Pulses (SACP)

The background structures remained in the differential spectra of two-quantum cascades after background subtraction by the method described in the preprint of the JINR P6-87-98 make difficult these spectra interpretation and reduce the SACP measurements energy interval. The idea of a two-step background subtraction is discussed. On the example of  $^{170}\text{Lu}$  decay it was demonstrated that this new method of Compton background subtraction results in full disappearance of these unwanted background structures.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992

25 коп.

Редактор Е.Б.Соболева. Макет Н.А.Киселевой.

Подписано в печать 23.04.92.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,84.

Тираж 370. Заказ 45268.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.