

С 344, 1-е

1

С-655

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P 13- 5696

1864/2-71



Л.М. Сороко

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АДАМАРА

1971

P 13-5696

Л. М. Сороко

**СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АДАМАРА**

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## S U M M A R Y

The Hadamard-transform scintillation counter designed to measure the angular and spatial distributions of nuclear and atomic particles in the presence of large noise from the photomultiplier is described. The gain in the effective signal-to-noise ratio achieved by this counter is the result of the spatial multiplexing, that is, of coding the spatial or angular distribution to be measured before counting it.

The counter consists of a multi-element heterogeneous scintillator, two lightguides and two photomultipliers. Fig. 5 shows the multi-scintillator consisting of  $(2M-1)$  scintillation elements. The lightflashes can enter only into the lower or only into the higher lightguides. The  $(M-1)$  elements of multi-scintillator are out of the region of the lightguide. The counting to be measured is equal to the difference between the number of  $N \uparrow (i)$  events and the number of  $N \downarrow (i)$  events at all  $M$  positions  $(1 \leq i \leq M)$  of the moving multiscintillator relative to the lightguide. It is needed to perform  $M$  independent measurements.

The spatial distribution of particles is undergoing the binary coding according to the Hadamard-transform algorithm. The system of multiplex Hadamard-transform detection is giving rise to the gain in the signal-to-noise ratio, being equal to  $\sqrt{M}$ , where  $M$  is the number of element-scintillators in the multiplex block scintillator. Neither the degradation of the angular distribution, nor the loss of the counting rate of the events to be measured are taking place. The Hadamard-transform scintillator counter gives the direct economical gain in the time of particle accelerators and also in the cost of the equipment.

The angular distribution of particles to be measured is shown in Fig. 7. The multiplex Hadamard-transform coded distribution is shown in Fig. 8. The results of the decoded transformation is shown in Fig. 9. The fluctuating component of the noise is shown in Fig. 11, and its decoded transform is shown in Fig. 12. The amplitude of the noise component is decreased 3.95 times in this example, and the root-mean-square parameter is decreased 4.654 times instead of  $4.34 = \sqrt{19} = \sqrt{M}$ .

В ходе физических экспериментов постоянно приходится решать проблему выбора оптимального соотношения между факторами, которые являются взаимно исключающими. Например, повышение скорости счёта достигается увеличением размеров счётчика, а это с неизбежностью приводит к ухудшению углового и энергетического разрешения. Особенно трудная задача встает перед физиком, когда исследуемое событие происходит настолько редко, что ограничивающим фактором становятся шумы счётчика. Длительность сеанса измерения в таких условиях приходится существенно увеличивать, чтобы снизить ошибку измерения фона счётчика, определяемую в этих условиях статистическими флуктуациями шумовых импульсов. Однако эффект уменьшения фоновой ошибки при заданном времени наблюдения можно также получить, если построить или закупить большое число счётчиков, включить их одновременно и измерения вести сразу под несколькими углами.

Ниже показано, что в точности такой же эффект снижения ошибки измерения фона можно получить с помощью только одного сцинтиллятора и двух фотоумножителей, включенных по логике интегрально-кодированного детектирования. Цель кодирования сводится к тому, чтобы искомую информацию в виде исследуемого углового распределения редких событий зарегистрировать в закодированном виде, а шумы счётчика — в незакодированном виде. Тогда невозможно указать, к какому угловому интервалу относится шумовой импульс, и на стадии восстановления импульс шума как бы размажется по всему угловому диапазону. А это приводит к ослаблению вклада шума счётчика. Можно доказать, что преимущество мультиплексной системы имеет также прямой экономический характер. А именно: логика интегрально-кодированного детектирования в условиях преобладания ошибки фона счётчика дает экономи-

ческий выигрыш как по сравнению с системой наблюдения одним счётчиком - в смысле прямого сокращения времени работы на ускорителе, так и по сравнению с системой наблюдения многими счётчиками - в смысле прямого сокращения расходов на оборудование.

82

Для того чтобы получить мультиплексную систему наблюдения, обычный монолитный сцинтиллятор (рис. 1) в традиционной схеме измерения модифицируют следующим образом. Сохраняя угловое разрешение системы неизменным, берут не один, а несколько элементарных сцинтилляторов. Это до-

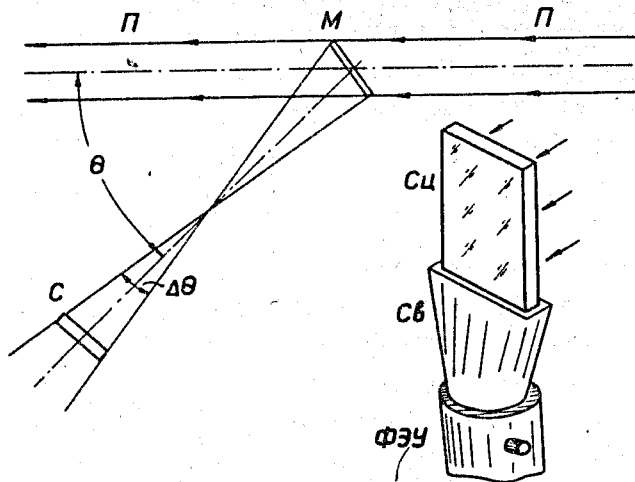


Рис. 1. Традиционная схема измерения углового распределения частиц, вылетающих из мишени М под действием пучка частиц П, с помощью счётчика С, состоящего из однородного сцинтиллятора Сц, световода Св и ФЭУ.

стигается либо путем увеличения размеров световода при неизменном расстоянии до мишени, либо путем уменьшения размера элементарного сцинтиллятора при соответствующем приближении счётчика к мишени. Элементарные сцинтилляторы располагают не сплошным массивом, а с просветами, так что ширина рабочего участка равняется ширине просвета (рис. 2).

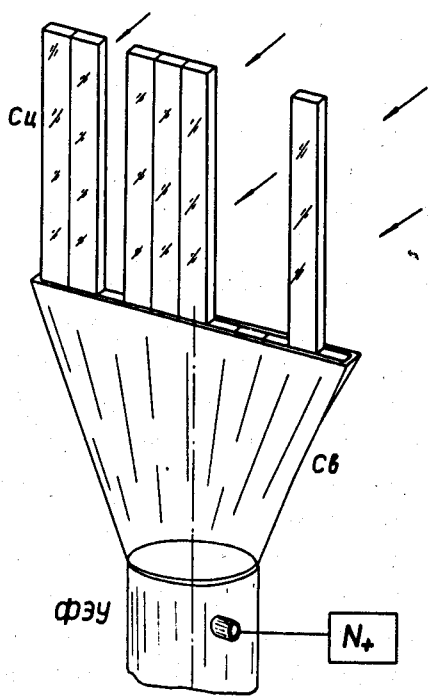


Рис. 2. Сложный сцинтиллятор, составленный из нескольких элементарных сцинтилляторов,

Рабочие участки и просветы чередуются по определенному закону псевдошумового кодирования, который описывается некоторой дискретной функцией  $g(i)$ . Существуют значения чисел элементов сцинтилляторов  $M$ , для которых можно построить такие функции  $g(i)$ , которые обладают свойством циклической трансортгоналиности. Это последнее свойство выражается соотношением

$$g(i) * g(i) \equiv \sum_{k=1}^M g(k) g(i+k) = M \cdot \delta(i) - 1. \quad (1)$$

Например, для  $M = 11$  функция  $g(i)$  имеет вид

$$+1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, \quad (2)$$

т.е. принимает как положительные, так и отрицательные значения. Для построения функций  $g(i)$  удобнее всего использовать матрицы Адамара.

Система из нескольких элементарных сцинтилляторов, изображенная на рис. 2, не обладает еще требуемыми биполярными свойствами. Однако униполярную систему можно легко превратить в биполярную. Это достигается добавлением второй, оптически изолированной от первой, системы элементарных сцинтилляторов. Обе системы взаимно дополняют друг друга. При вложении одной группы сцинтилляторов в другую образуется сплошной большой сцинтиллятор. Таким образом, общий сцинтиллятор состоит из двух групп элементарных сцинтилляторов, светоизолированных друг от друга, и находится в зазоре между плоскими внешними гранями двух световодов. Свет из одной группы элементарных сцинтилляторов не может переходить в другую и собирается двумя световодами, установленными с разных торцов (рис. 3). Чередование световодов, в которые попадает свет от вспышки, описывается биполярной функцией  $g(i)$ . Каждый из фотоумножителей подключен к отдельному счётному устройству. Импульсы от каждого из них поступают на выходной биполярный счётчик с противоположными фазами. Измеряемой величиной является разность

$$\Delta N(i) = N_+(i) - N_-(i) \quad (3)$$

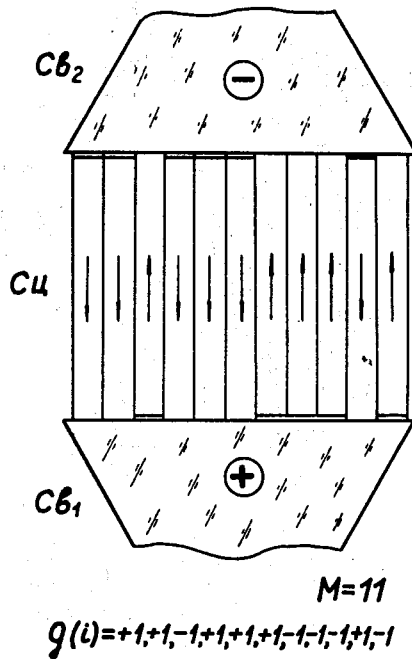


Рис. 3. Сложный сцинтиллятор, состоящий из двух групп элементарных сцинтилляторов, светоизолированных друг от друга. Сцинтиллятор установлен между внешними гранями двух световодов. Чередование световодов, в которые попадает свет из элементарных сцинтилляторов, описывается биполярной функцией  $g(i)$ . На рисунке показан сцинтиллятор, состоящий из 11 элементарных сцинтилляторов ( $M=11$ ), для которых функция  $g(i)$  имеет вид  $\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\downarrow\downarrow\downarrow\downarrow$ . Стрелка  $\uparrow$  обозначает, что свет идет в верхний световод, стрелка  $\downarrow$  показывает, что свет идет в нижний световод.



при каждом положении кодовой картины  $g(i)$  относительно неподвижных световодов. Эта величина принимает как положительные, так и отрицательные значения! (рис. 4).

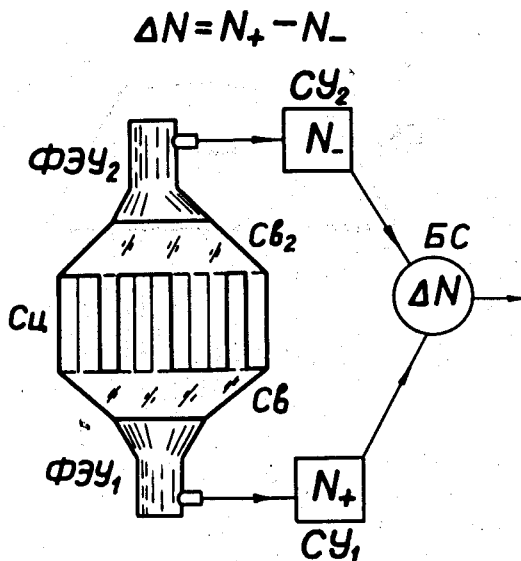


Рис. 4. Радиотехническая схема включения фотоумножителей ФЭУ, сосчитывающих устройств СУ и биполярного счётчика БС, предназначенная для измерения биполярных значений интегрально-кодового образа изучаемого углового распределения.

Для измерения углового распределения частиц с шагом по углу, соответствующим ширине элементарного сцинтиллятора, полный сцинтиллятор смещают ступенчато на шаг, равный ширине элементарного сцинтиллятора. Чтобы измерения сделать удобными, составной сцинтиллятор изготавливают не из  $M$  элементарных сцинтилляторов, а из  $(2M-1)$  так что  $(M-1)$

элементов всегда свисают за пределы световодов. Последние собирают свет всегда только с  $M$  элементов (рис. 5).

Всего необходимо сделать  $M$  перестроек сцинтиллятора путем циклических сдвигов. Например, если в начале серии измерений ( $i = 1$ ) левый элементарный сцинтиллятор совпадал с левым краем световодов, то при последнем измерении ( $i = M$ ) правый элементарный сцинтиллятор располагался непосредственно у правого края световодов.

Для обеспечения светового контакта между сцинтиллятором и световодами в процессе перемещения общего сцинтиллятора изготавливают два корытца из алюминиевой фольги с отбортованными краями и заливают вазелиновым маслом или другой светопроводящей жидкостью (рис. 6).

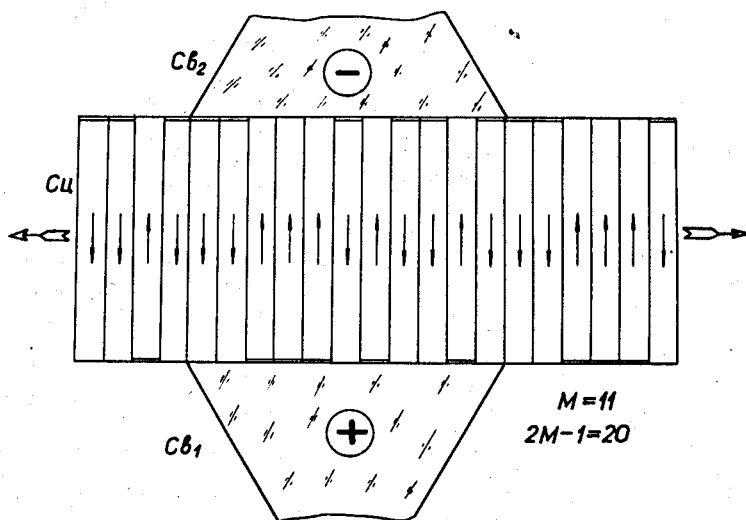


Рис. 5. Реальная схема мультиплексного счётчика, состоящего из подвижного составного сцинтиллятора из  $(2M-1)$  элементов, двух световодов и ванночек для оптического контакта.

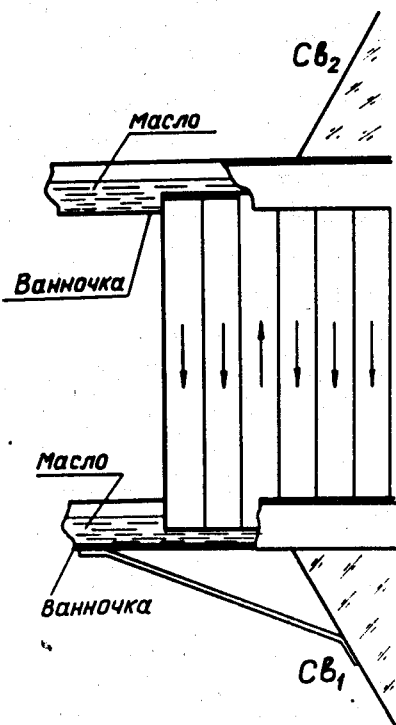


Рис. 6. Деталь конструкции ванночки для создания оптического контакта при перемещении подвижного составного сцинтиллятора.

83

Найденные таким образом биполярные значения  $\Delta N(i)$  подвергают восстанавливающей обработке. Выполняют операцию свертки функции  $\Delta N(i)$  с функцией  $g(i)$ , которая задавала закон чередования и группирования элементарных сцинтилляторов в составном сцинтилляторе.

Биполярный мультиплексный сцинтилляционный счётчик с подвижным сцинтиллятором выполняет следующие функции в условиях, когда определяющей ошибкой является ошибка измерения фона счётчика:

1) кодирует угловое распределение частиц от редких событий на стадии детектирования; угловое разрешение определяется одним элементарным сцинтиллятором; непосредственного выигрыша в наборе статистики полезных событий не возникает;

2) уменьшает ошибку измерения фона, обусловленную шумами счётчика, при прочих равных условиях в  $\sqrt{M}$  раз, где  $M$  — число каналов, наблюдаемых одновременно, равное числу элементарных сцинтилляторов, уместяющихся на световоде;

3) сокращает необходимое время работы ускорителя при заданной ошибке измерения фона в  $M$  раз.

Приведенные ниже примеры иллюстрируют эффект уменьшения шумов счётчика.

На рис. 7 дано исходное распределение частиц по угловым интервалам  $f(i)$ , ( $1 \leq i \leq 19$ ). На рис. 8 показан интегрально-кодовый образ этого распределения, равный свертке

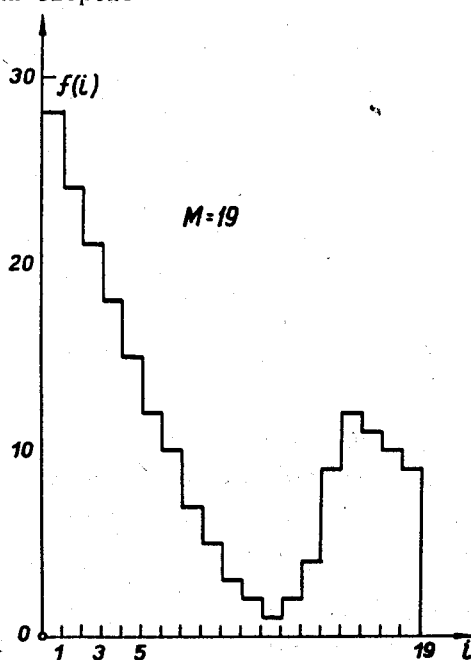


Рис. 7. Гистограмма  $f(i)$ , описывающая исходное распределение частиц по угловым интервалам в исследуемом диапазоне углов от  $\theta_1$  до  $\theta_2$ ,  $M = 19$ .

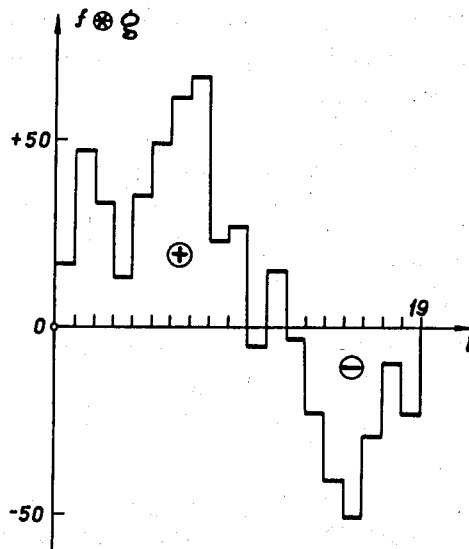


Рис. 8. Интегрально-кодовый образ распределения  $f(i)$ , равный свертке функции  $f(i)$  с биполярной функцией  $g(i)$ , которая задает картину чередования выходных торцов элементарных сцинтилляторов, входящих в состав подвижного составного сцинтиллятора. Биполярная система счёта регистрирует функцию  $f * g$ ,  $M = 19$ .

$$f(i) * g(i) = \sum_{k=1}^{M=19} f(k) g(i-k). \quad (4)$$

Эта функция описывает распределение частиц по элементарным сцинтилляторам при различных положениях подвижного сцинтиллятора. Это промежуточные данные, регистрируемые биполярной системой. Результаты, полученные после стадии декодирования

$$[f(i) * g(i)] * g(i), \quad (5)$$

показаны на рис. 9. От исходного распределения  $f(i)$  они отличаются тем, что появляется постоянное отрицательное смещение, равное

$$\sum_i f(i) * g(i) * g(i) = (M+1) \sum_i f(i), \quad (6)$$

а масштаб вдоль оси ординат растягивается в  $(M+1)$  раз. Отдельно приведены шумовые компоненты  $n_1(i)$  и  $n_2(i)$  на рис. 10 и ее флюктуационная часть  $\Delta n(i)$  на рис. 11. На рис. 12 даны результаты, полученные после стадии декодирования

$$\Delta n(i) * g(i). \quad (7)$$

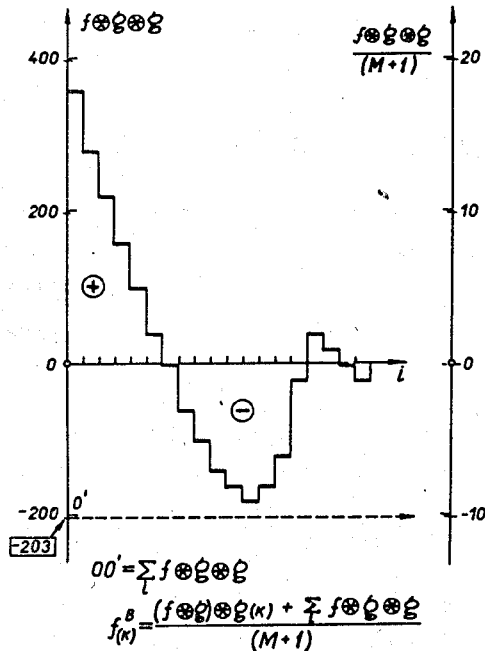


Рис. 9. Результаты, полученные после декодирования данных, зарегистрированных биполярной системой. От исходного распределения они отличаются наличием постоянного смещения и измененным масштабом.  $M = 19$ .

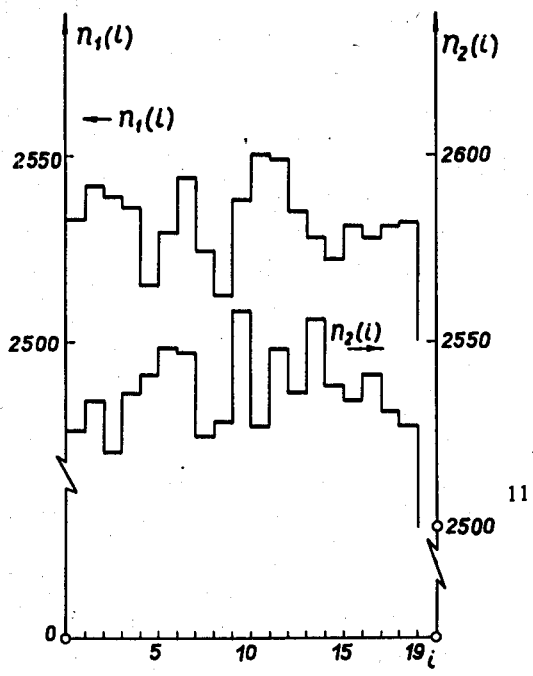


Рис. 10. Шумовые компоненты  $n_1(i)$  и  $n_2(i)$   $M = 19$ .

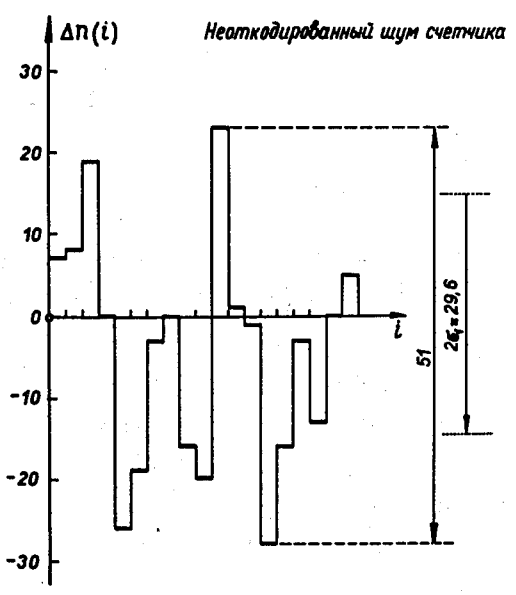


Рис. 11. Флюктуационная часть шума  $\Delta n(i)$ .  $M = 19$ .

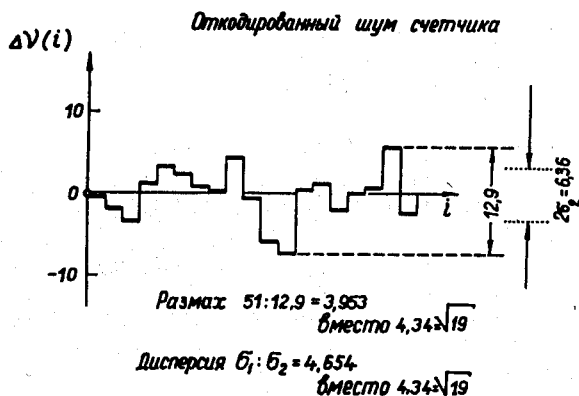


Рис. 12. Результаты, полученные после декодирования шума  $\Delta n(i)$ .

$M = 19$ . Сравнение рис. 11 с рис. 12 демонстрирует эффект подавления шумов, достигаемый с помощью логики интегрально-кодированного преобразования исходных данных.

Из сопоставления данных, показанных на рис. 11 и 12, видно, что эффект флюктуационных шумов уменьшился примерно в  $\sqrt{M}$  раз. А именно: амплитуда шумов уменьшилась в 3,953 раза, а среднеквадратичное отклонение уменьшилось в 4,654 раза вместо  $4,34 = \sqrt{19} = \sqrt{M}$  по теоретическим предсказаниям.

#### §4

Итак, задача заключалась в том, чтобы измерить функцию, описывающую угловое распределение редких событий. Мешающим фактором является относительно высокий фон шумовых импульсов от фотоумножителя.

Решение задачи осуществляется следующими стадиями:

1) с помощью мультиплексного кодирования на стадии детектирования искомую функцию превращают в интегральный образ  $f(i) * g(i)$ , где  $g(i)$  – бинарная кодирующая функция;

2) счётчик импульсов регистрирует биполярную величину

$$s = [f * g] + \Delta n,$$



где  $\Delta n$  - флюктуационная компонента шумов при разных положениях подвижного мультиплексного синциллятора;

3) на стадии восстановления вычисляется функция

$$s * g = [f * g] * g + \Delta n * g;$$

4) окончательный результат измерений получается в виде

$$f_B(i) = \frac{1}{M+1} [(f * g) * g + \sum_i f * g * g] + \Delta v(i),$$

где  $\Delta v(i)$  - флюктуационный шум, уменьшенный по сравнению с исходным в  $\sqrt{M}$  раз. Здесь  $M$  - параметр мультиплексности системы кодирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.М. Финк. Теория передачи дискретных сообщений. "Советское радио", Москва, 1970.
2. Цифровые методы в космической связи. Под редакцией С. Голомба, "Связь", Москва, 1969.
3. Н.Т. Петрович, М.К. Размахнин. Системы связи с шумоподобными сигналами. "Советское радио", Москва, 1969.
4. Л. Мерц. Интегральные преобразования в оптике, "Мир", Москва, 1969.
5. M.J.A. Sloane, T. Fine, P.G. Phillips and M. Harwit. Applied Optics, 8, 2103 (1969).
6. J.A. Decker, Jr., and M. Harwit. Applied Optics, 8, 2552 (1969).
7. W.K. Pratt, J. Kane and H.C. Andrews. Proc. IEEE, 57, 58 (1969).
8. J.A. Decker, Jr., Experimental Hadamard-transform spectrometry in 1970 Proceedings Symposium and Workshop on Applications of Walsh Functions, Ed. C.A. Bass, p.p.101-105, 1970.
9. L.R. Welsh. Walsh Functions and Hadamard Matrices, *ibid.*, p.p. 163-165.
10. H. Harmuth. Transmission of Information by Orthogonal Functions. New York/Berlin, 1969. Springer-Verlag.
11. Р. Беллманн. Введение в теорию матриц. Физматгиз, М., 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

13 марта 1971 года.