

СЗ44.1з

С-655

15/x1-71

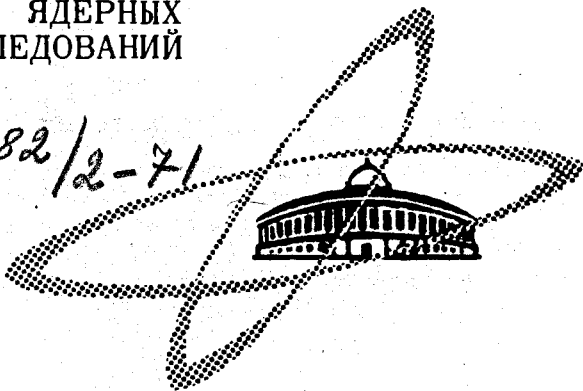
5

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 6019

3882/2-71



Л.М. Сороко

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК ЧАСТИЦ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1971

P13 - 6019

Л.М. Сороко

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК ЧАСТИЦ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Черенковский счётчик частиц, предназначенный для измерения спектра скоростей коллимированных частиц^{/1/}, состоит из цилиндрического радиатора, цилиндрического зеркала, подвижной диафрагмы и двух фотоумножителей. Частицы, проходящие через радиатор по оси симметрии, испускают конус лучей, которые фокусируются в точку на выходной сферической поверхности. Цилиндрическое зеркало отражает лучи, сходящиеся в кольцо на его внутренней поверхности, в точку, расположенную на оси. Система светосбора состоит из подвижной диафрагмы и светодетектора. Выбор угла испускания черенковского излучения, регистрируемого системой, осуществляют путём перемещения диафрагмы и фотоумножителей вдоль оси детектора. Два фотоумножителя включены в схему совпадений, благодаря чему подавляется эффект шумов, некоррелированных во времени.

Основная трудность, с которой встречается экспериментатор при работе с черенковским счётчиком, это — малая интенсивность излучения, составляющая по порядку величины ≈ 100 фотонов на 1 см пути однозарядной частицы. Поэтому обычно шумы фотоумножителя сравнимы по порядку величины с импульсом от черенковского излучения. С увеличением толщины радиатора амплитуда импульса черенковского излучения возрастает, однако, одновременно ухудшается разрешающая способность дифференциального счётчика.

Вредное влияние шумов фотоумножителя является основным препятствием при наблюдении очень редких процессов. С другой стороны, кроме некоррелированных шумовых импульсов существуют также другие причины

появления фоновых отсчетов счётчика. Так, например, физический фон может быть образован ложными сигналами на выходе двух фотоумножителей, когда происходит одновременное, коррелированное выбивание фотоэлектронов с фотокатодов обоих фотоумножителей. Агентом такого процесса может быть проникающее излучение. При высоком уровне последнего количество ложных сигналов такой природы может стать недопустимо большим. Если инициирующее проникающее излучение состоит только из заряженных частиц, то применение системы сцинтилляционных счётчиков, включенных на антисовпадения с черенковским счётчиком, позволяет снизить такой фон. Однако, если это гамма-кванты или нейтроны, то подобная мера оказывается мало эффективной.

Толщина радиатора и размер диафрагмы светособирающей системы выбираются с учётом оптимальной разрешающей способности черенковского счётчика. Последняя задается такими физическими процессами как оптическая дисперсия, торможение частицы и многократное рассеяние частицы /2/.

К повышению интенсивности черенковского излучения ведут как увеличение толщины радиатора, так и расширение угла захвата светособирающей системы. Но одновременно с этим теряется разрешающая способность. Иначе говоря, любая операция, приводящая к увеличению интенсивности черенковского излучения, которое достигает фотоумножителей, сопровождается ухудшением разрешающей способности счётчика. Между тем, повышение интенсивности черенковского излучения, которое одновременно дает большие амплитуды электрических импульсов на выходе фотоумножителей, весьма желательно для экспериментатора, поскольку с их ростом эффекты шумов и физического фона ослабевают.

Налицо два взаимно исключаящих фактора: чем больше света используется в счётчике, тем хуже его разрешающая способность.

82.

Описываемый ниже черенковский счётчик частиц, функционирующий по схеме традиционного дифференциального отбора черенковского излучения по углу, позволяет при прочих равных условиях дополнительно ослабить эффекты шумов и физического фона фотоумножителей. А именно,

разработанный черенковский счётчик характеризуется следующими показателями:

1) существенно более высокой скоростью счёта черенковских импульсов на выходе каждого из фотоумножителей — без ухудшения разрешающей способности счётчика по углу;

2) взаимным гашением физического фона, вызванного проникающим излучением или иными агентами коррелированного вырывания фотоэлектронов в фотоумножителе;

3) улучшенным по сравнению с традиционным черенковским счётчиком соотношением числа полезных и фоновых импульсов, облегчающим наблюдение редких событий.

Все эти свойства черенковского счётчика достигаются путем замены однородного цилиндрического зеркала, направляющего в систему светосбора черенковское излучение в узком интервале угла $\Delta\theta$, гетерогенной многоэлементной системой, состоящей из M независимых элементарных зеркал.

Чтобы пояснить идею, лежащую в основе разработанного черенковского счётчика, рассмотрим следующую вспомогательную конструкцию. Вместо цилиндрического зеркала возьмём параболическое зеркало, удовлетворяющее некоторым условиям. А именно, фокусное расстояние этого зеркала и его положение таковы, что черенковское излучение, вышедшее из торца радиатора, фокусируется в пятно в плоскости, которая примерно совпадает с плоскостью выходного торца радиатора. Световое пятно падает на светособирающее зеркало, расположенное несколько ниже излучателя. На рис. 1 данное положение параболического зеркала показано в разрезе сплошной линией.

Представим теперь, что параболическое зеркало повернуто вокруг оси, перпендикулярной плоскости чертежа так, что оно занимает другое крайнее положение, и пятно света идёт во второе светособирающее зеркало, расположенное выше излучателя (на рис. 1 пунктирная кривая). Параболическое зеркало, собирающее свет в широком интервале углов, не обладает, естественно, требуемой разрешающей способностью по углу.

Разобьем поверхность параболического зеркала на M кольцевых зон, угловой захват каждой из которых равен оптимальному угловому

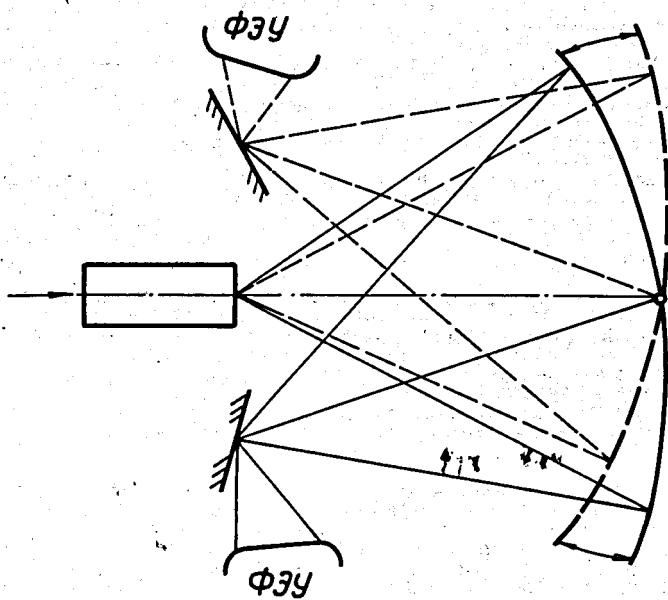


Рис. 1. Схема, поясняющая работу фокусирующего зеркала в двух крайних положениях (см. текст).

разрешению $\Delta\theta$ счётчика. После этого не представляет труда превратить эту вспомогательную конструкцию в мультиплексную систему.

Как известно, мультиплексной системой называется такая система, которая содержит всего один канал связи и один приёмник информации, но информация, регистрируемая приёмником, имеет многоканальную природу, например, поступает от нескольких датчиков. В данном случае мультиплексность означает, что фотоумножитель сосчитывает одновременно все акты прохождения частиц, черенковское излучение которых попадает в широкий диапазон углов. Задача состоит в том, чтобы не перепутать между собой данные, относящиеся к различным интервалам углов. Это достигается с помощью бинарного мультиплексного кодирования. Наилучший вариант — использование псевдослучайной последовательности чисел $g(i)$ ($i=1,2,\dots,M$), обладающих хорошими корреляционными свойствами. Так, последовательность $g(i)$ обладает свойством циклической ортогональности, и функция автокорреляции равна

$$g(i) * g(i+k) = (M+1) \delta(k) - 1. \quad (1)$$

Чтобы выполнить эти условия, достаточно выбрать последовательность $g(i)$ изоморфной строке усечённой матрицы из семейства матриц Адамара. Например, при числе элементарных зеркал $M=11$ последовательность $g(i)$ имеет вид

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

На рис. 2 изображена полная схема мультиплексного черенковского счётчика. Частица движется вблизи оси цилиндрического радиатора 1. Черенковское излучение, вышедшее из торца радиатора, попадает на гетерогенное параболическое зеркало 2, разрезанное на кольцевые элементарные зеркала. Ширина кольца отвечает оптимальному угловому разрешению системы с учётом толщины материала радиатора, сорта частицы и расходимости пучка.

Элементарные кольцеобразные зеркала расположены концентрически и держатся во взаимно перпендикулярных осях качания (рис. 3) так, что

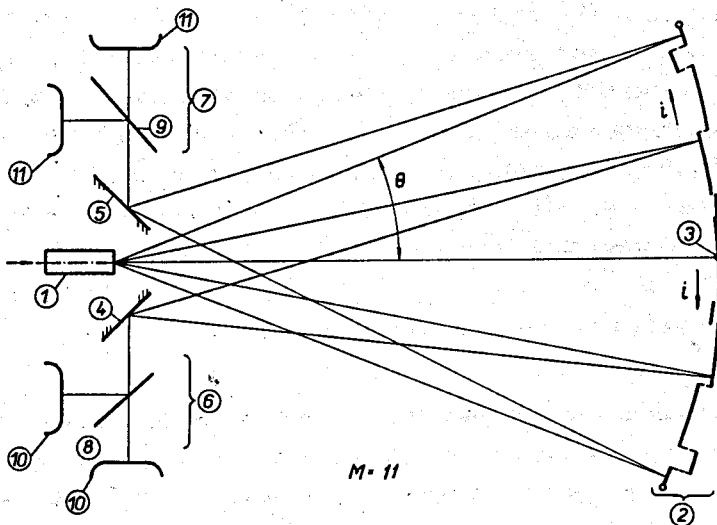


Рис. 2. Схема мультиплексного черенковского счётчика с гетерогенной системой кольцеобразных зеркал. 1 - радиатор, 2 - гетерогенные кольцеобразные зеркала, 3 - ось качания (см. текст).

каждое элементарное зеркало может независимо занимать одно из двух крайних положений, поворачиваясь на малый угол вокруг своей оси качания. Каждое из элементарных зеркал фокусирует свет на одно из двух светособирающих зеркал 4 и 5 независимо от того, куда фокусируется свет в двух соседних зеркалах. Возникают две взаимно проникающих друг в друга по глубине и дополняющих друг друга в плане гетерогенные зеркальные поверхности. Светособирающие зеркала 4 и 5 направляют далее свет в соответствующие светорегистрирующие системы 6 и 7, каждая из которых в общем случае состоит из светоделителя 8 и 9 и нескольких фотоумножителей 10 и 11. Всего делают M измерений. При этом от одного измерения к другому формы гетерогенных поверхностей, соответствующих последовательности чисел $(+1)$ и (-1) , циклически меняются. Например, если при первом измерении зеркала образуют рельеф в соответствии с кодом

$$+1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, \quad (3)$$

то при втором измерении конфигурация зеркал отвечает коду

$$-1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1. \quad (4)$$

Для выполнения операции переброса каждого элементарного зеркала из одного крайнего положения в другое служит система электромагнитных приводов. Каждый из них состоит из опоры 12 и электромагнита 13. При выключенном электромагните элементарное зеркало занимает верхнее крайнее положение, а при включенном - нижнее крайнее положение (рис. 3).

Счётчик имеет два выхода: один - от нижней светорегистрирующей системы 14, другой - от верхней светорегистрирующей системы 15. Выходы включены взаимно в противофазе с реверсивным биполярным счётчиком 16 (рис. 4). Измеряемой величиной является алгебраическая разность

$$\Delta N(i) = N_+(i) - N_-(i). \quad (5)$$

Таким образом, скорость счёта такой биполярной системы принимает как положительные, так и отрицательные значения.

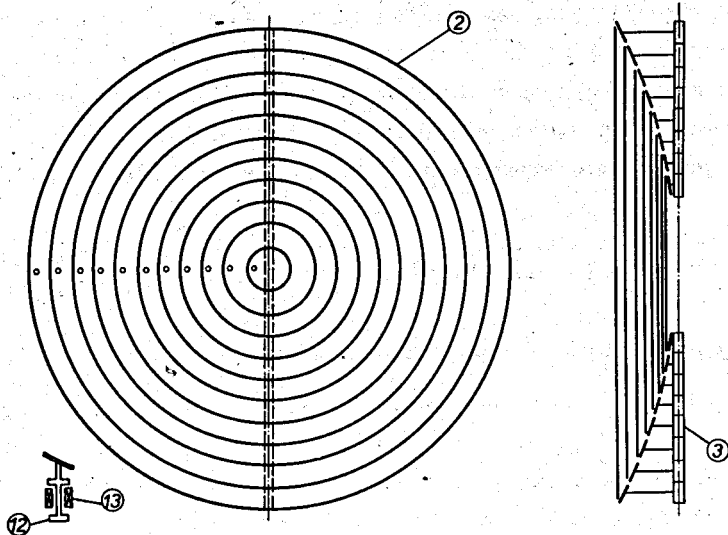


Рис. 3. Конструктивная схема крепления кольцеобразных зеркал 2 на общей оси качания 3. Слева - вид в плане, справа - разрез в плоскости оси качания (см. текст).

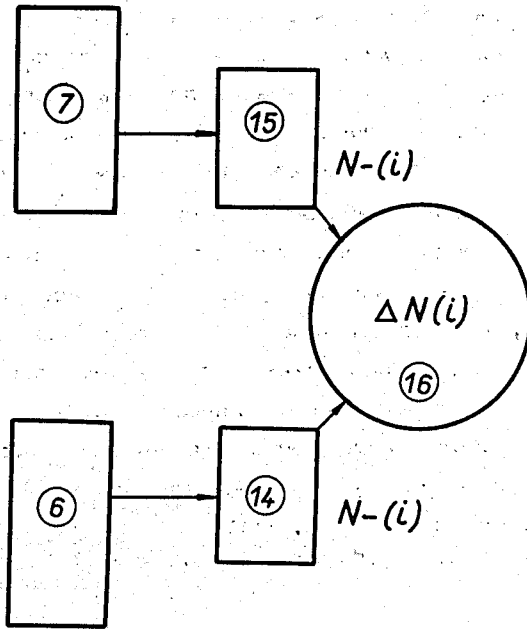


Рис. 4. Блок-схема включения импульсов, поступающих от двух светособирающих систем 6 и 7, через светорегистрирующие блоки 14 и 15 с реверсивным биполярным счётчиком 16.

Эффект шума фотоумножителя при такой логике наблюдения подавляется потому, что шум фотоумножителя не закодирован, и поступает прямо в счётное устройство, в то время как искомая информация - угловое распределение квантов черенковского излучения - закодирована. Поэтому отсутствует метка, которая указывала бы, в какой участок углового распределения попадает шумовой импульс. На стадии восстановления этот импульс шума как бы размывается по всему наблюдаемому угловому диапазону. Последнее наступает вследствие широкополосной природы кодирующей последовательности чисел $g(i)$. Всё это приводит к тому, что эффект шума счётчика ослабевает примерно в \sqrt{M} раз.

Эффект физического фона, когда ложные импульсы в обоих фотоумножителях возникают одновременно, полностью гасит сам себя. Это происходит потому, что выходы от фотоумножителей включены взаимно в противофазе с биполярным реверсивным счётчиком (см. соотношение (5)).

Измеренные промежуточные данные $\Delta N(i)$ подвергают восстанавливающей обработке путём осуществления операции корреляции с последовательностью чисел $g(i)$ (см. выражение (2)). Свойство обратимо восстанавливать исходную информацию вытекает из циклической ортогональности последовательности чисел $g(i)$ (см. выражение (1)).

Литература

1. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. "Основы экспериментальных методов ядерной физики", Атомиздат, Москва, 1970, стр. 314, Рис. 9,4.
2. В.П. Зрелов. "Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий". Атомиздат, Москва, 1968, т. II, стр. 107-127.
3. Л.М. Сороко. "Псевдошумовые последовательности и применение их для мультиплексных систем регистрации частиц". Сообщение ОИЯИ, P13-5722, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 сентября 1971 г.