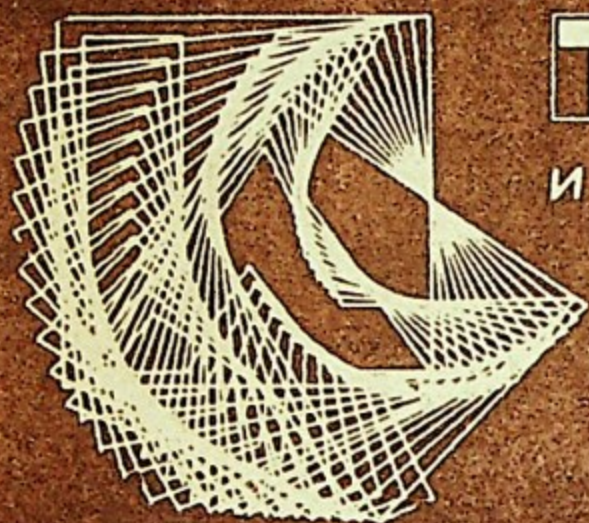


539.1
455
МФТИ

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

93

Ю. П. Добрецов А. Н. Калиновский В. А. Канцеров



ФАКУЛЬТЕТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРИГГЕР
В СОВРЕМЕННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ
НА УСКОРИТЕЛЕ**

Москва 1989

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

539.1
D55

Ю. П. Добрецов А. Н. Калиновский В. А. Канцеров

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРИПТЕР
В СОВРЕМЕННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ
НА УСКОРИТЕЛЕ

Утверждено
редсоветом института
в качестве учебного пособия

Москва 1989

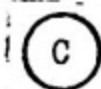


УДК 539.12

Добрецов Ю.П., Калиновский А.Н., Канцеров В.А. Электронный триггер в современном эксперименте на ускорителе: Учебное пособие. М.: МЭИ, 1989. — 20 с.

Учебное пособие представляет собой конспект лекции, входящей в курс "Современный эксперимент на ускорителе". Изложены назначение, функции и основные этапы разработки электронного триггера физического эксперимента на ускорителе. Приведены примеры реализации триггера.

Пособие рассчитано на студентов старших курсов МЭИ, специализирующихся в области экспериментальной физики.



Московский
инженерно-физический
институт, 1989 г.

Редактор И.М.Соболева
Техн.редактор З.И.Хазова
Корректор А.В.Козырев

Тем. план 1989 г., поз. 18

Л.-21757 Подписано в печать 18.12.89. Формат 60x84 1/16
Печ.л. 1,25 Уч.-изд.л. 1,25 Тираж 140 экз.
Изд.№ 068-1 Цена 10 коп. Заказ 2703

Московский инженерно-физический институт. Типография МЭИ.
115409, Москва, Каширское шоссе, 31

НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ТРИГГЕРА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

При проектировании и проведении экспериментов в области ядерной физики и физики элементарных частиц одной из основных задач является проблема выделения из всех возможных процессов взаимодействия частиц пучка с мишенью одного или нескольких, исследуемых в эксперименте. Исследуемые процессы обычно называют эффектом, а все остальные по отношению к нему — фоном. Разработка методов подавления фона и выделения эффекта преследует две цели — достоверное выделение полезных событий и эффективное использование времени набора необходимой статистики. Достоверность определяется соотношением величин эффекта и фона и их погрешностями. Погрешность фона накладывает предел на минимальную величину эффекта, достижимого в эксперименте.

При наборе статистики одним из главных источников потери времени являются операции передачи на хранение и, если это необходимо, на первичную обработку событий в ЭВМ. При этих операциях система приема информации с детекторов блокируется на время, много большее обработки сигналов с этих детекторов быстрой электроникой.

Обозначим время блокировки через T_0 . При статистическом характере распределения событий эффективность η их приема ЭВМ может быть определена из соотношения

$$\eta = \frac{\kappa'}{\kappa} = \frac{1}{1 + \kappa T_0}, \quad (I)$$

где κ , κ' — соответственно число поданных в ЭВМ и принятых ею в единицу времени событий. Обычно $T_0^{-1} = \kappa_0 \approx 10^2 + 10^3 \frac{1}{\text{с}}$. Из (I) видно, что пока частота $\kappa \ll \kappa_0$ потери статистики эффекта не происходит. Однако при $\kappa \rightarrow \kappa_0$ η падает, что приводит к непроизводительному использованию времени работы ускорителя. Более того, повышение в этих условиях интенсивности первичного пучка с целью увеличения скорости набора статистики может дать обратный результат, если фон растет быстрее эффекта. Примером такой ситуации может служить случай, когда фон обусловлен случайными временными совпадениями счетчиков.

Выделение полезного события основано на использовании специфических признаков исследуемого процесса, отличающих его от всех

остальных. Такими признаками могут служить тип и число частиц, знаки их электрических зарядов, кинематика и топография события, энерговыделение, время жизни и (или) продукты распада, если частица нестабильная, эффективная масса системы частиц. Для записи в ЭВМ полезного события необходимо с помощью соответствующей аппаратуры перевести физические признаки исследуемого процесса в электрические сигналы. Совокупность этих сигналов, реализованная в электрический сигнал-команду для передачи информации в ЭВМ, обычно называют электронным триггером эксперимента. Далеко не всегда существует или может быть практически реализован триггер, полностью исключаящий фоновые события. Поэтому реальный триггер — это, с одной стороны, компромисс между желаемым и достижимым, а с другой — отражение уровня понимания условий эксперимента в процессе его подготовки и проведения. Бытует мнение, что в сложном эксперименте понимание наилучшего триггера происходит лишь с его окончанием.

В общем случае можно сформулировать следующие требования к электронному триггеру (ЭТ). Он должен:

- 1) обладать высокой эффективностью выделения полезных событий;
- 2) максимально подавлять фоновые события;
- 3) свое решение принимать быстро — по крайней мере, быстрее чем время записи событий в ЭВМ или в какой-либо другой накопитель информации.

При выполнении этих требований ЭТ способен обеспечить высокую скорость набора статистики, эффективно использовать время ускорителя и объем памяти на магнитных лентах, упростить и ускорить последующую обработку информации.

По степени выделения полезного сигнала ЭТ разделяются на "мягкие" и "жесткие". "Мягкий" триггер допускает присутствие фоновых событий и обычно обусловлен либо техническими причинами, либо необходимостью получения информации о сопутствующих процессах. "Жесткий" триггер узко направлен на выделение исследуемого процесса и использует, как правило, большую, чем "мягкий", информацию.

Степень "жесткости" ЭТ определяет уровень триггера. Величина уровня, в свою очередь, определяется объемом привлекаемой для его реализации информации и техническими средствами ее обра-

ботки с целью принятия решения. Обычно триггеры низших уровней формируются с помощью быстрых детекторов и быстрых электронных схем — дискриминаторов, схем совпадений-антисовпадений, смесителей и т.д. Триггеры высоких уровней вырабатываются с привлечением быстрых процессоров, анализирующих информацию, полученную с детекторов и быстрой электроники, и принимающих на основе этого анализа решения без обращения к ЭВМ. Такие триггеры называют "интеллектуальными".

В современных экспериментах на ускорителях на сверхвысокие энергии, очень дорогих в строительстве и эксплуатации, стало экономически невыгодным создавать экспериментальные установки, решающие какую-либо одну задачу. Практически любая из существующих и проектируемых установок на таких ускорителях является большим комплексом, позволяющим измерять одновременно все параметры всех вторичных частиц *.

Эксплуатация таких комплексов потребовала развития новых подходов к разработке ЭТ. В настоящее время разработаны и используются так называемые мультитриггерные системы, в которых реализуется набор триггеров, отвечающих разным физическим задачам, решаемым параллельно на одной установке. Мультитриггерные системы оснащаются дополнительными быстрыми процессорами для частичного подавления по заданной программе более вероятных событий в пользу редких. При работе в мультитриггерном режиме каждое событие, передаваемое в ЭВМ, дополняется кодом соответствующего ему триггера, что упрощает последующий анализ набранной информации.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ТРИГГЕРА

Практическая разработка ЭТ распадается на ряд этапов. Прежде всего следует четко сформулировать признаки, совокупность которых составляет исследуемое событие. Следующим шагом является анализ источников и величин физических фонов, которые будут сопутствовать событию. На этом этапе предстоит выяснить класс фонов, имеющих характеристики, наиболее близкие к исследуемому процессу. При этом может быть обнаружено, что некоторые источ-

* Об оснащенности и сложности таких установок говорят такие данные: в их проектировании и обслуживании участвуют сотни физиков; цена установок доходит до десятков миллионов долларов.

ники фонов не могут быть исключены техническими средствами. Характерным примером такого случая может служить измерение параметров резонансных процессов — сечения образования резонанса, его ширины, резонансной энергии или массы. Положим, что мы изучаем характеристики частицы-резонанса с идентификацией ее по эффективной массе частиц-продуктов распада резонанса. Физическим фоном в этой реакции является непрерывный спектр эффективных масс того же набора частиц, рожденных без образования резонанса. Ясно, что в этом случае жесткого ЭТ не существует. Поэтому для выяснения возможности постановки эксперимента необходимо проведение специального анализа для поиска условий измерения, позволяющих получить дополнительную информацию о фоне, которую можно было бы использовать для выделения эффекта при последующей обработке экспериментального материала. В данном примере для этой цели обычно используют известную форму фонового спектра эффективных масс, отвечающую фазовому объему реакции без образования резонанса. Для определения величины фона под кривой резонанса необходимо экспериментально определить нормировку фонового спектра. Это можно реализовать, используя "мягкий" ЭТ, который разрешает регистрировать события не только в области резонанса, но и вне его.

Следующий этап разработки ЭТ тесно связан с выбором детекторов и методик обмера параметров исследуемого события, необходимых по физике эксперимента. Предпочтение при прочих равных условиях должно отдаваться таким детекторам и методикам, которые могли бы быть использованы и для выработки ЭТ. Если это невозможно или недостаточно для необходимого уровня подавления фонов, вводятся дополнительные детекторы и методики с соответствующим электронным и программным обеспечением.

При работе на ускорителях высоких энергий на выведенном наружу первичном или вторичном пучке в области расположения экспериментальной установки всегда присутствуют потоки фоновых частиц. Источниками фона являются сам ускоритель, параллельно работающие каналы частиц, рабочий пучок. В разных экспериментах вклады и характер источников фонов могут быть разными и поэтому способы их подавления также различны. Для примера укажем некоторые из источников фонов и всеупотребительные способы борьбы с ними.

• 1. Фон ускорителя обусловлен взаимодействием внутреннего пучка с остаточным газом внутри ускоряющей камеры и ее стенками. Большая часть этих фоновых потоков не совпадает по направлению с трассой рабочего пучка, что и используется для его подавления: линейку из нескольких сцинтилляционных счетчиков устанавливают вдоль оси канала и включают эти счетчики на совпадение друг с другом. Чем больше расстояние между счетчиками, тем надежнее отделение пучковых частиц от фоновых. Сигнал со схемы совпадения включают в ЭТ.

2. Для исключения срабатывания системы регистрации от фона ускорителя в период ускорения первичного пучка, а также от любых других источников фонов, не совпадающих во времени с выводом пучка в зону экспериментальной установки (ЭУ), электронные триггеры стробируются разрешающим сигналом, называемым "Ворота", выставляемым по времени с помощью синхроимпульса систем управления работой ускорителя. Длительность строба устанавливают равной времени вывода пучка в зону ЭУ.

3. При транспортировке пучка частиц к мишени ЭУ возможно появление заметного фона от взаимодействия пучка с элементами канала (главным образом, со стенками коллиматоров). У пучка появляется галло частиц, идущих шире апертуры пучка. Для исключения срабатывания аппаратуры от галло по оси пучка устанавливаются в простейшем варианте сцинтилляционные счетчики с отверстием в центре сцинтиллятора, соответствующим поперечным размерам пучка. Включение этих счетчиков в антисовпадение с ЭТ исключает запуск установки такого рода фоном.

4. Если эксперимент нацелен на изучение взаимодействия конкретного типа частицы с мишенью, а пучок содержит разные частицы, перед мишенью устанавливаются идентификаторы типа частиц, например, черенковские счетчики. Сигналы с идентификаторов также заводятся в ЭТ.

5. Для исключения событий, когда в пределах разрешающего времени τ электроники в мишень приходит более одной частицы, обычно используют величину импульса от сцинтилляционного счетчика, стоящего перед мишенью. Если ЭТ вырабатывается за время $T \gg \tau$, то проводится счет числа частиц за T . Если число частиц более одной, выдается запрет на выработку ЭТ.

Завершающим этапом разработки электронного триггера является его техническая реализация. Оптимальное быстродействие триггера может быть получено лишь при правильной и очень рациональной организации системы съема и передачи информации с детекторов. Это связано с перекачкой больших объемов информации, необходимой для обработки в специализированных триггерах высокого уровня.

Типичным для современного физического эксперимента, как упоминалось выше, стал многоуровневый (до пяти уровней [1]) триггер. Примерная структура съема данных в эксперименте представлена на рис.1.

I уровень. Так называемый уровень быстрых триггеров. Характерные времена от нескольких сотен наносекунд до 20 мкс. Здесь событие проверяется по простейшим топологическим критериям: множественность, энерговыделение и т.д. Это традиционная область $\mu\text{П}$ -электроники. Информация поступает, как правило, со сцинтилляционных и черенковских счетчиков (рис.2).

Модули быстрой $\mu\text{П}$ -электроники могут выполнять лишь простейшие арифметико-логические операции с небольшим числом переменных. Тем не менее в последнее время наметилась тенденция усложнения критериев отбора на этом уровне путем использования программируемых корреляционных логических матриц (МВММ) [5]. Триггер I-го уровня очень "мягкий" и оставляет большое количество фоновых событий.

II уровень. На этом уровне (время $\sim 25 \text{ мкс} + 5 \text{ мс}$) проверяется соответствие события более жестким физическим условиям, например, величине поперечных импульсов, общего энерговыделения, эффективной массы частиц, топографии треков и т.п. Для этих целей, как правило, используются специализированные процессоры.

Возможны несколько способов реализации подобных процессоров. Оптимальным по быстродействию является аппаратный процессор, алгоритм работы которого заложен в конкретной схеме, выполненной на современной элементной базе. Такой процессор трудно или невозможно приспособить для других физических задач. Существенный недостаток аппаратного процессора - необходимость точного знания алгоритма отбора до начала разработки.

На рис.3 приведена структурная схема простого аппаратного процессора [2], отбирающего события по разности чисел частиц,

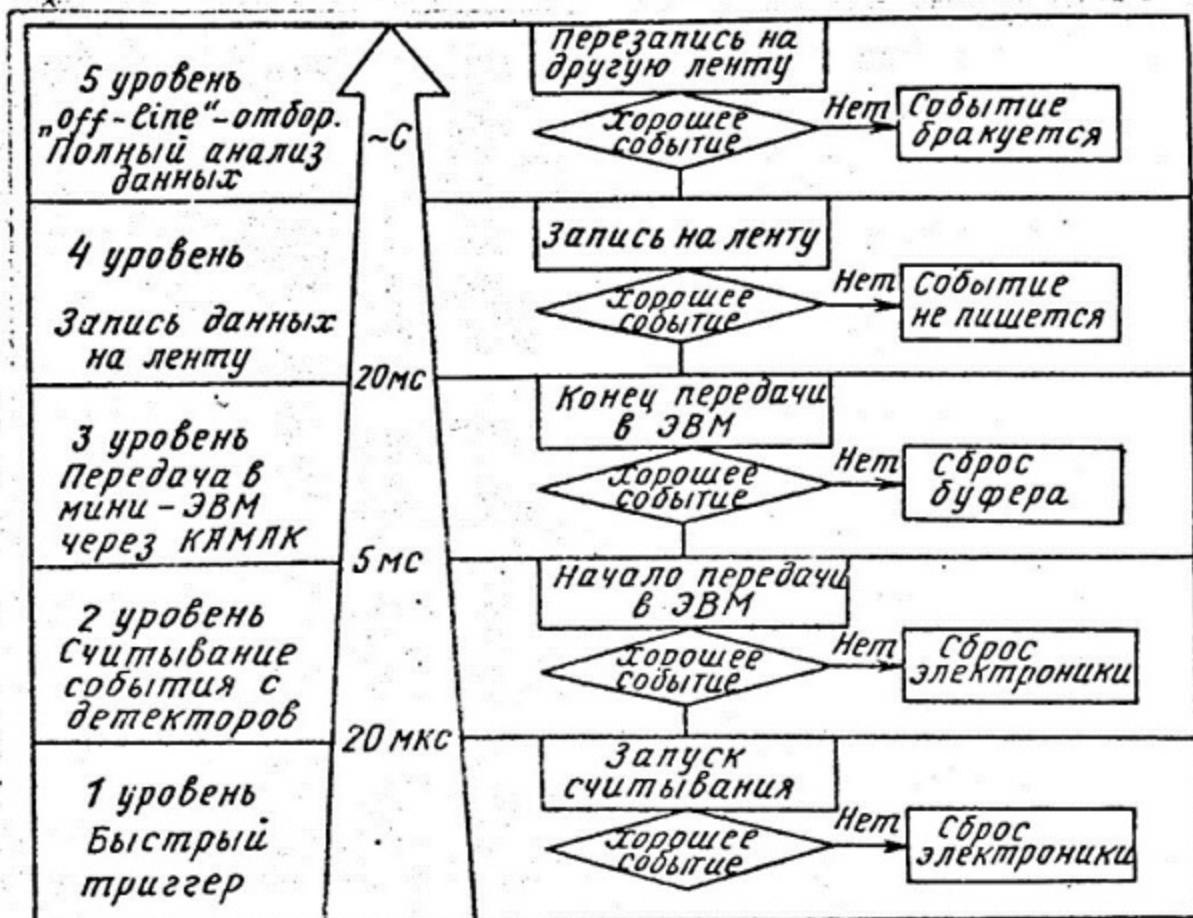


Рис. 1. Структура многоуровневого триггера в физическом эксперименте

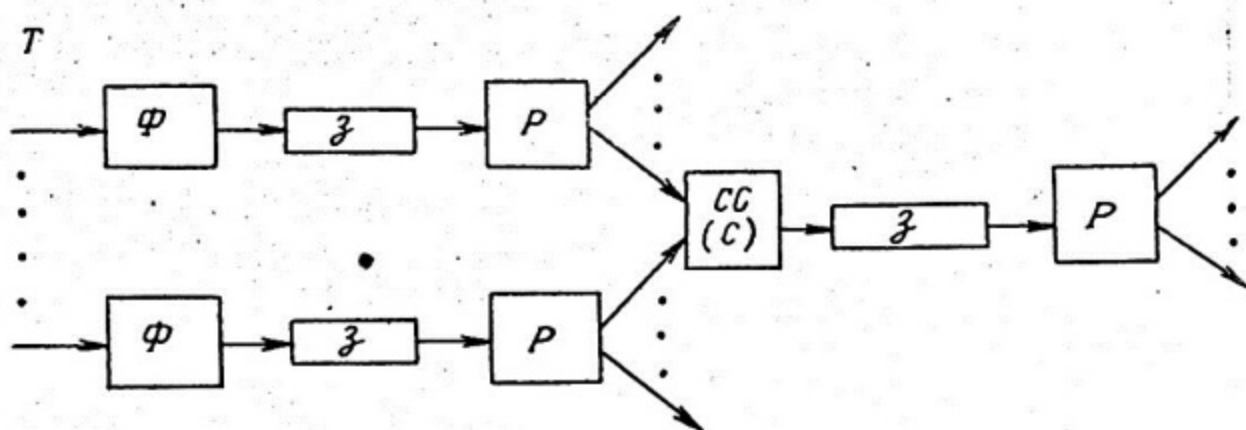


Рис. 2. Структурная схема канала предварительного отбора событий

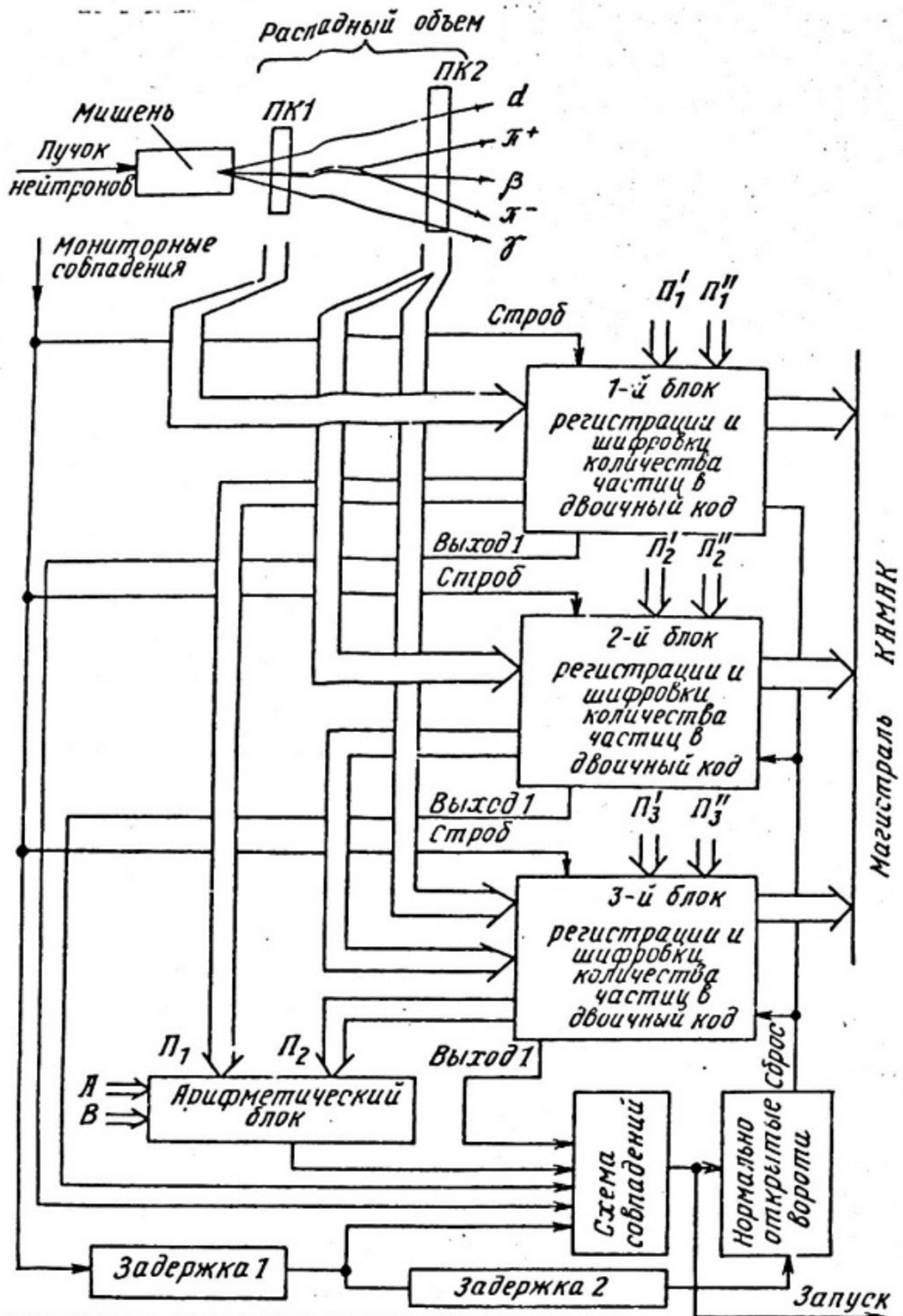


Рис.3. Структурная схема быстродействующего процессора, отбирающего события по разности числа частиц, прошедших через две пропорциональные камеры

прошедших через две пропорциональные камеры. Он состоит из 32-канальных быстродействующих блоков регистрации и преобразователя количества сработавших каналов в каждой пропорциональной камере в двоичный код и арифметического блока, реализующего алгоритм $A < \kappa_1 - \kappa_2 < B$, где κ_1 , κ_2 - количество зарегистрированных в момент запуска частиц в ПК1 и ПК2; A, B - константы, задаваемые переключателями на передней панели.

Более сложные специальные процессоры могут восстанавливать траектории частиц с целью определения, например, угла вылета частиц из мишени или кривизны траектории в магнитном поле [2].

До настоящего времени спецпроцессоры разрабатываются для конкретной физической задачи. Однако опыт, накопленный при разработке подобных систем, наводит на мысль о возможности унификации отдельных модулей интеллектуальных триггеров, что позволит упростить разработку сложных систем отбора и снизить их стоимость [3, 4].

III уровень. Передача данных через КАМАК в ЭВМ. Характерное время $5 + 25$ мс позволяет провести дослительную селекцию с использованием мощных процессоров с плавающей арифметикой. Для этих целей чаще всего используются микропроцессоры, эмулирующие систему команд какой-либо стандартной ЭВМ (например, РДР-II). За счет специализированной структуры, упрощенной архитектуры, ограниченного набора команд и компонентов с повышенным быстродействием при приемлемых затратах получают высокую скорость приема и обработки данных. С другой стороны, в таких процессорах упрощается программирование, которое может вестись на языках высокого уровня (Фортран, Паскаль и т.п.) стандартных ЭВМ.

IV уровень. Запись данных на ленту занимает от нескольких десятков мс до секунд. Используются различные мини-ЭВМ. При этом возможен некоторый дополнительный отбор.

V уровень. Окончательная обработка событий за время порядка нескольких секунд с использованием больших ЭВМ. Имеется интересный опыт по использованию эмуляторов для этих целей.

Естественно, далеко не каждый эксперимент требует столь разветвленной системы отбора событий, но отдельные уровни можно выделить в любом эксперименте.

Организацию и функционирование триггерной системы современного эксперимента в области физики высоких энергий рассмотрим

на примере установки ГАМС -- Годоскопического Автоматизированного Многофотонного Спектрометра (ИФВЭ, СССР).

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРИГГЕР В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА УСТАНОВКЕ ГАМС

Установки, основным элементом которых является спектрометр семейства ГАМС, используются для проведения экспериментов на выведенных пучках с неподвижной (фиксированной) мишенью.

При помощи установки ГАМС была проведена серия экспериментов на ускорителе У-70 (Серпухов, СССР) и протонном суперсинхротроне СПС (ЦЕРН, Швейцария), в которых были открыты новые мезоны τ (2510) со спином 6 и δ (1590) с квантовыми числами $I^G J^{PC} = 0^+ 0^{++}$ (эта частица обладает свойствами, характерными для объектов нового класса - глюболы, т.е. частиц, представляющих собой связанные состояния глюонов); впервые обнаружены редкие распады $\eta \rightarrow \pi^0 \rho^0$ и $\eta \rightarrow 3\pi^0$ и получен ряд других важных физических результатов.

Прежде чем перейти к рассмотрению постановки эксперимента и его триггерной системы, необходимо познакомиться с основным элементом установки - годоскопическим многофотонным спектрометром. В качестве примера рассмотрим один из семейства спектрометров - ГАМС-2000 [6]. Он представляет собой матрицу из 1536 (48x32) счетчиков из прозрачного свинцового стекла. Счетчики (или ячейки) представляют собой призмы длиной 45 см с квадратным поперечным сечением, сторона квадрата 3,8 см. Высокоэнергетичные гамма-кванты, попадая в спектрометр, инициируют электромагнитные ливни. Электронная компонента ливня излучает черенковский свет в свинцовом стекле, количество которого пропорционально величине энергии, выделившейся в счетчике. Черенковский свет собирается и преобразуется в электрический сигнал при помощи фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), прикрепленных к торцам счетчиков (рис. 4). Сигналы с ФЭУ используются для быстрого распознавания полезных событий и для выработки электронного триггера - сигнала, дающего "команду", по которой активизируется система сбора данных и зарегистрированное установкой событие записывается в долговременную память (например, на магнитную ленту). Для выработки триггера используются как аналоговые сигналы, так и предварительно оцифрованные при помощи преобразователей "аналог-цифра" (АЦП).

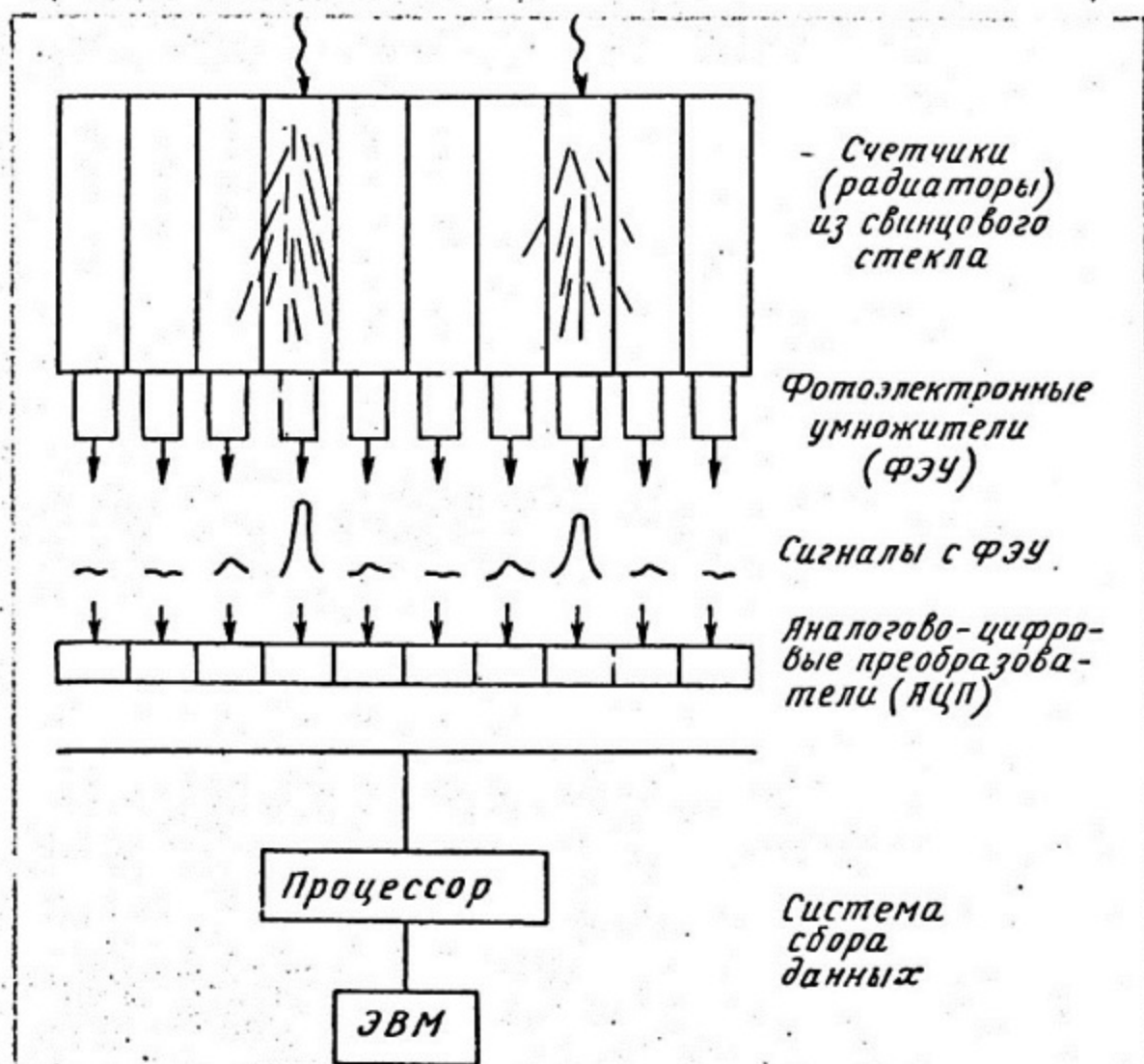


Рис.4. Принцип работы ГАМС

Для того чтобы с максимальной полнотой реализовать возможности ячеистого спектрометра на триггерном уровне и при последующей обработке экспериментальных данных, необходимо оптимальным образом выбрать геометрические размеры счетчиков-радиаторов. Выбор продольного размера диктуется необходимостью обеспечить практически полное поглощение энергии гамма-кванта, выделившейся в виде электромагнитного ливня, т.е. предотвратить утечку энергии в продольном направлении. При этом обеспечивается линейная зависимость отклика спектрометра от энергии гамма-кванта. В случае радиатора из свинцового стекла ТЮІ поглощение 98 % энергии гамма-кванта происходит на длине

$$L \approx 30 + 4 \ln E_\gamma, \text{ см}, \quad (2)$$

где E_γ — энергия гамма-кванта в ГэВ. Однако длина радиатора не должна быть слишком большой, так как вследствие потерь черенковского света из-за его поглощения в объеме призмы и многократного отражения от стенок ухудшается очень важная характеристика спектрометра — его энергетическое разрешение. Специальные исследования на пучке электронов показали, что оптимальная длина составляет 45 см. Поперечные же размеры радиаторов выбираются таким образом, чтобы обеспечить возможность утечки энергии за боковые грани в соседние счетчики и тем самым — определения с высокой точностью пространственного положения ливня, например, путем определения его центра тяжести в поперечном направлении. При поперечном размере радиатора 38 мм погрешность измерения поперечной ливню координаты составляет 1,5 мм при энергии гамма-кванта порядка 10 ± 20 ГэВ.

Определение местоположения ливня (вызванного гамма-квантом) в детекторе и знание места образования (положения мишени) дают возможность определить направление движения гамма-кванта, что совместно с измерением его энергии позволяет определить вектор импульса.

Ячеистая структура спектрометра позволяет одновременно детектировать события с большим числом фотонов в конечном состоянии, определяя вектор импульса каждого из них. При этом "соседние" фотоны можно "разделить" в пространстве, если даже их "точки встречи" со спектрометром находятся на небольшом расстоянии друг от друга (вплоть до 3 см). На рис.5 приведено событие с 10 фотонами в конечном состоянии ($\eta' (958) \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0$, $\eta \rightarrow 3\pi^0$, $5\pi^0 \rightarrow 10\gamma$), как оно "видится" спектрометром ГМС-2000.

Измерение векторов импульсов фотонов позволяет определять массы частиц их родителей. На рис.6 приведены распределения по эффективным массам систем из 2, 6 и 4 фотонов. Системы фотонов, образовавшиеся в результате распадов одной и той же родительской частицы, проявляются в виде характерных пиков в спектре эффективных масс этих систем.

В экспериментах с использованием детекторов семейства ГМС изучались взаимодействия π^- -мезонов с протонами (суммарный

электрический заряд частиц в начальном состоянии равен 0), в результате которых образуются нейтральные состояния, распадающиеся на несколько фотонов:

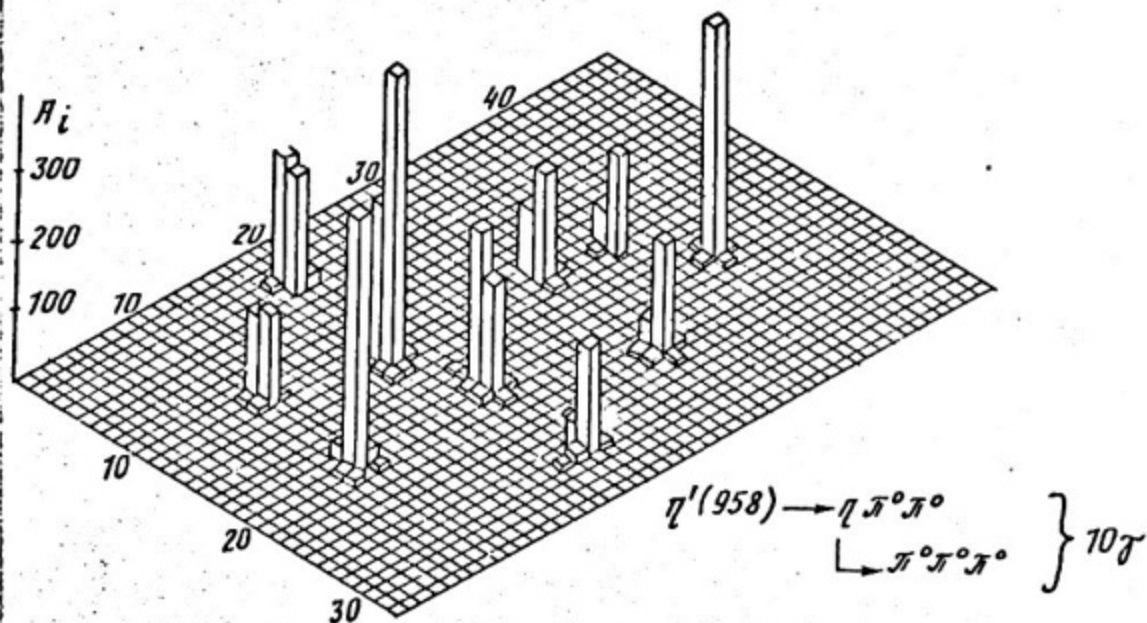
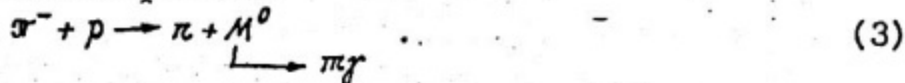


Рис. 5. Распад η^- -мезона на 10 фотонов, зарегистрированный спектрометром ГАМС-2000. A_i - амплитуды сигналов с отдельных ячеек спектрометра (в относительных единицах)

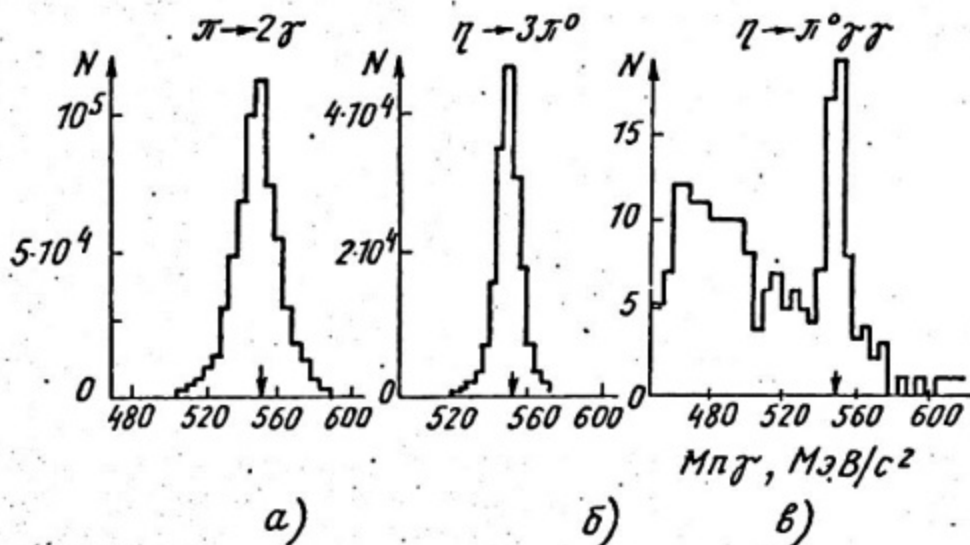


Рис. 6. Спектр эффективных масс 2 (а), 6 (б) и 4 (в) гамма-квантов

Изучалось также образование J/ψ - и χ -частиц:

$$\pi^- + p \rightarrow X + J/\psi \xrightarrow{\quad} e^+e^-, \quad \pi^- + p \rightarrow X + \chi \xrightarrow{\quad} e^+e^- \quad (4)$$

где X - любые частицы, образующиеся в результате взаимодействия.

Для успешного проведения эксперимента необходимо прежде всего иметь уверенность в том, что взаимодействуют именно π^- -мезон и протон. С этой целью использовалась мишень из жидкого водорода, на которую наводился пучок π^- -мезонов, сформированный специальным магнитооптическим каналом, состоящим из квадрупольных магнитных линз и отклоняющих магнитов. Такой канал позволял среди вторичных частиц, образующихся в результате взаимодействия первичного пучка протонов ускорителя с внутренней мишенью, "отбирать" частицы определенного знака (в нашем случае отрицательно заряженные) с определенным импульсом и транспортировать их до мишени.

Очевидно, что поперечные размеры пучка не должны превышать поперечные размеры мишени, иначе часть частиц просто пролетит мимо и, что значительно опаснее, провзаимодействует не с веществом мишени, а с ядрами конструкционных материалов, окружающих ее. В принципе, такие события можно отбраковать при последующей обработке экспериментальных данных путем пространственной реконструкции события и установления места взаимодействия. Однако целесообразнее не "замусоривать" магнитные ленты, на которых записывается информация с детекторов, и браковать такие события на более ранней стадии. Поперечные размеры пучка частиц определяются свойствами формирующего его канала и могут быть сделаны достаточно малыми. Практически, однако, существует опасность наличия у пучка галло, т.е. небольшого (относительно) числа частиц, движущихся на значительном расстоянии от оси пучка. Поэтому поперечный размер пучка "формируется" при помощи скинтилляционных счетчиков соответствующих размеров (их часто называют "телескопом"), которые устанавливаются по трассе пучка (рис.7). Заряженная частица, проходя через каждый из таких счетчиков, дает сигнал, свидетельствующий о том, что частица прошла в пределах его поперечного размера. Совпадение по времени сигналов с нескольких "формирующих" поперечные размеры пучка счетчиков служит гарантией того, что частица прошла по нужной траектории и не

"промахнется" мимо мишени. Наличие "формирующего" сигнала служит одним из необходимых условий для активации (запуска) установки.

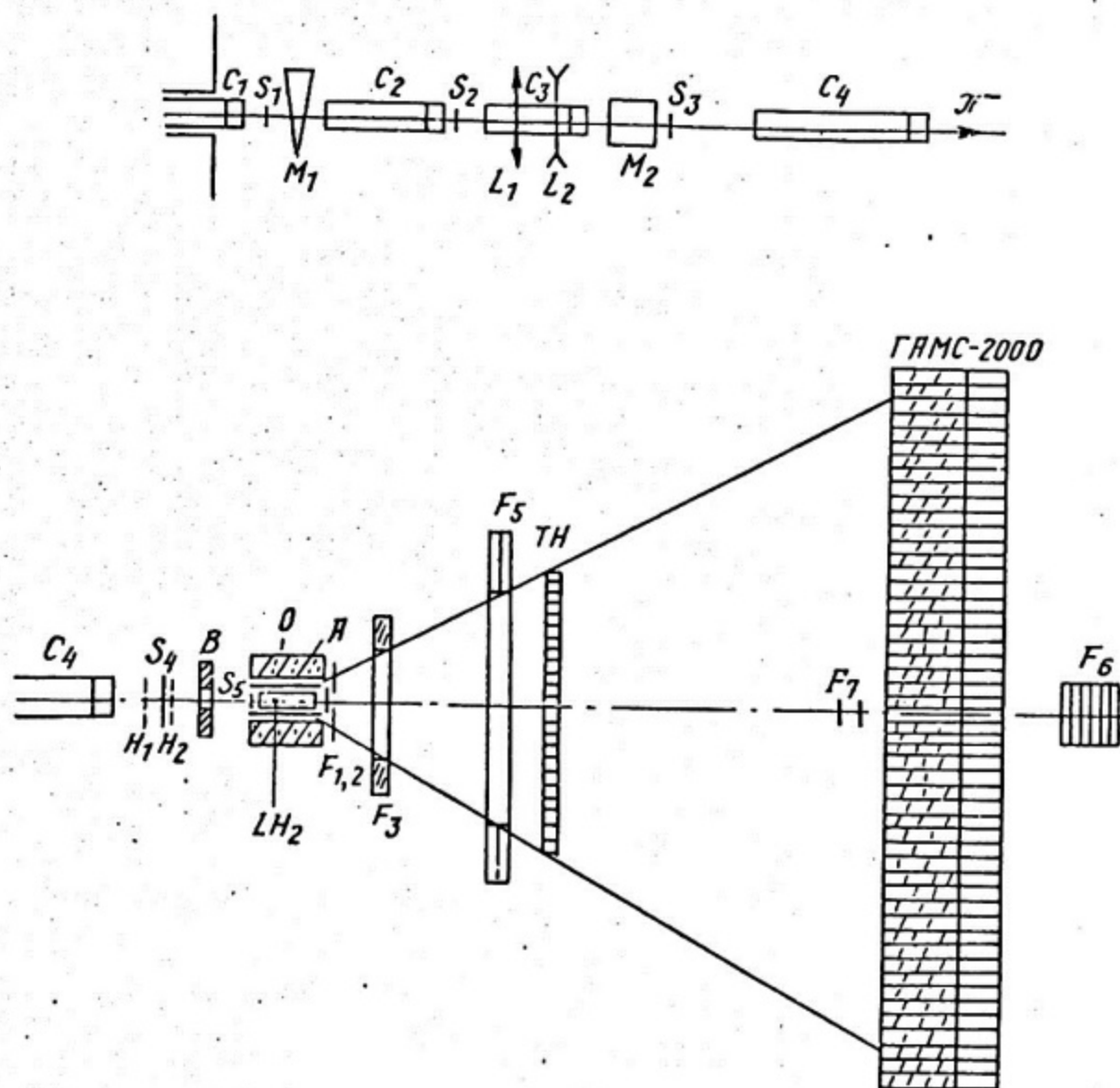


Рис. 7. Схема эксперимента: M_1, M_2 - поворотные магниты; L_1, L_2 - квадрупольные линзы; $S_1 \div S_5$ - сцинтилляционные счетчики; $C_1 \div C_4$ - газовые черенковские счетчики (пороговые); H_1, H_2 - двумерные годоскопы с шагом 1 мм; $F_1 \div F_3, A, B, O$ - счетчики охранной системы; F_5, F_6 - сэндвичи из сцинтилляционных счетчиков, прослоенных свинцовыми пластинами; TH - 2-мерный сцинтилляционный годоскоп с отверстием $9 \times 9 \text{ см}^2$

2-2703

После того как пучок "наведен" на мишень, необходимо убедиться, что наведены не просто отрицательные частицы, а σ^- - мезоны. Для этой цели на пути частиц пучка располагаются пороговые черенковские счетчики (см. рис. 7), которые при известном импульсе частицы дают возможность определить ее массу. Использование нескольких черенковских счетчиков повышает надежность идентификации частицы. Сигнал с черенковских счетчиков является еще одним необходимым условием для активации установки и в рассматриваемом нами эксперименте завершает "формирование" пучка.

Анализ величин сигналов, поступивших со сцинтилляционных счетчиков, позволяет определить число заряженных частиц, одновременно (т.е. в пределах временного разрешения) прошедших через счетчики, и запретить запуск установки в случае одновременного прохождения двух и более частиц.

После того как пучок сформирован, необходимо быстро определить, произошло ли взаимодействие частицы первичного пучка с веществом мишени, и если да, то, по возможности, и его тип. Для этого необходимо использовать наиболее характерные свойства изучаемого типа взаимодействия. Так, например, в случае экспериментального изучения реакции (3) эти свойства можно описать следующими образом.

| Характеристика события | Соответствующий "отклик" аппаратуры |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Заряженная частица попала в мишень | Срабатывают сцинтилляционные счетчики телескопа |
| Налетающая частица π^- -мезон | Срабатывают черенковские счетчики |
| За мишенью ниже по пучку нет заряженных частиц | Не срабатывает сцинтилляционный счетчик за мишенью и охранная система (см. на рис. 4, б счетчики 0, А, $F_{1,2}$) |
| В конечном состоянии несколько гамма-квантов | Заметное энерговыделение в спектрометре ГАМС |

Из приведенного сопоставления становится ясно, какое должно быть сочетание сигналов, поступающих с регистрирующих элементов установки, чтобы по ним сделать быстрый отбор "полезного" события. Конечно, среди событий, отобранных при помощи такого триггера и записанных на ленту, будет много таких, которые ничего общего с искомыми не имеют, но все же основную часть "обычных" фоновых событий удается подавить.

Во времени процедура выработки триггера на событие выглядит так. На первом этапе анализируются сигналы с самых быстрых детекторов — сцинтилляционных и черенковских счетчиков — при помощи быстрой электроники. При этом счетчики $S_1 \div S_5$ и $C_1 \div C_4$ включены в совпадение между собой, а счетчики $A, F_{1,2}, B, D$ в антисовпадение к ним. Кратко логика включения счетчиков записывается в виде $S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 C_1 C_2 C_3 C_4 \bar{A} \bar{F}_1 \bar{F}_2 \bar{B} \bar{D}$. Черта сверху означает, что данный счетчик включен в антисовпадение со счетчиками без черты. Выработка и анализ сигнала со схемы совпадений — антисовпадений занимает десятки наносекунд. После этого число положительных решений (т.е. разрешений на продолжение анализа событий) становится во много раз меньше, чем число частиц в первичном пучке, наведенных на мишень. Такое "прореживание" позволяет на следующем этапе проводить более сложный анализ событий с использованием сигналов с других элементов установки, требующий больших затрат времени. Так, суммируя сигналы со всех призм спектрометра ГАМС, можно определить энерговыделение в этом детекторе, которое пропорционально суммарной энергии гамма-квантов в конечном состоянии. Требуя, чтобы эта энергия превышала некоторое пороговое значение $E_{\text{пор}}$, можно еще больше "проредить" события и обеспечить возможность еще более сложного (и требующего большего времени) анализа. Если в эксперименте изучается образование массивного нейтрального объекта M_0 с массой, большей $1 \text{ ГэВ}/c^2$, распадающегося на n гамма-квантов, то из сигналов спектрометра ГАМС при помощи микропроцессора можно "сконструировать" величину, соответствующую эффективной массе системы из n фотонов. Требуя, чтобы эта величина превышала порог $M_{\text{пор}} = 1 \text{ ГэВ}/c^2$, можно осуществить дополнительное подавление фона.

В эксперименте на ускорителе У-70 интенсивности пучка π^- -мезонов с энергией 40 ГэВ составляла 10^6 частиц за сброс. Применение описанного выше триггера с величинами порогов $E_{\text{пор}} = 25 \text{ ГэВ}$ и $M_{\text{пор}} = 1 \text{ ГэВ}/c^2$ позволило довести скорость поступления полезных событий для их последующей записи до 50 за цикл работы ускорителя ($\sim 1,5 \text{ с}$ — вывод частиц, $\sim 7 \text{ с}$ — пауза).

Свойства события, соответствующего реакции (4), отличаются от события типа (3) тем, что в конечном состоянии имеются заряженные частицы (по крайней мере две — e^- и e^+ от распада J/ψ

или χ). Поэтому триггер на такого типа события должен быть ориентирован несколько по иному. Так, не следует требовать отсутствия сигнала в охранных счетчиках $F_{1,2}$. Вместо этого указанием на наличие взаимодействия может служить отсутствие сигнала в небольшом по размеру счетчике F_z , который должен быть включен в триггерную схему в режиме антисовпадения (\bar{F}_z) с основным телескопом счетчиков.

Так же, как и в предыдущем случае, с целью выработки соответствующего триггера анализируются сигналы A_i со спектрометра ГАМС. Из них при помощи быстрого микропроцессора конструируются следующие величины: энерговыделение $E = \sum \alpha_i A_i$ и первый момент $M_r = \sum \alpha_i A_i r_i / L$, где α_i — калибровочные коэффициенты; A_i — сигнал с i -го счетчика; r_i — расстояние от счетчика i до оси пучка; L — расстояние от мишени до ГАМС. Требования $E > 21$ ГэВ и $M_r > 2,8$ ГэВ позволяют довести скорости поступления полезных событий до 50 за сброс.

Оба рассмотренных триггера на физически различные типы событий (3) и (4) могут работать параллельно, что чрезвычайно важно с точки зрения максимально эффективного использования времени ускорителя и набора большого объема экспериментальной информации о рассматриваемых процессах. Конечно, нужны специальные исследования и кропотливая работа, чтобы выбрать и сделать триггер таким образом, чтобы он максимально эффективно браковал ненужные события и сохранял полезные, т.е., как говорят, триггер должен обладать высокой селективностью. Рассмотренные выше триггеры обладают такими свойствами.

Список литературы

1. Dobson R.W. *Proceeding of the 1980 CERN School of Computing, Gree, 1980, p.325.*
2. Басиладзе С.Г. Быстродействующая ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Бушнин Ю.Б. и др. Быстродействующая система регистрирующей и триггерной электроники для экспериментальных исследований в ИФВЭ, Препринт ИФВЭ, 88-47, ОЗА, Серпухов, 1988.
4. Рыбаков В.Г. Система ФАСТБАС, Препринт ИФВЭ, 84-7, ОЗА, Серпухов, 1984.
5. Певчев Ю.Ф., Финогенов К.Г. Автоматизация физического эксперимента. М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. F. Binon et al. - *NIM, A248 (1986), p.86-102.*