ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
Институт теоретической и экспериментальной физики

FERMILAB
SEP 4 1997
LIBRARY

20-97

А.А.Седов

Система передних счетчиков в эксперименте H1.

ITEP-20-97
Fermilab Library
0 1160 0057994 0

Москва 1997

УДК 539.172 М-16

СИСТЕМА ПЕРЕДНИХ СЧЕТЧИКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ H1: Препринт ИТЭФ 20-97/

А.А.Седов - М., 1997 - 20с.

Описана система передних таггирующих счетчиков (СПТС) для эксперимента H1 (г. Гамбург, Германия). Ожидается увеличение эффективности регистрации продуктов диффракционного распада протона в диапазоне масс $M_y \cong 1.0 - 10.0\ GeV$ до 80-85%. Обсуждаются также результаты тестирования СПТС.

The Forward Tagging System (FTS) for the H1 experiment at DESY is described. Increasing the efficiency in the non-visible by H1 Detector mass range of $M_y \cong 1.0 - 10.0\ GeV$ up to 80-85% is expected. Some results of testing FTS are also discussed.

Рис. - 8, список лит. - 15 наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 1997

1 Введение

На e-p коллайдере HERA протоны с энергией 820 GeV сталкиваются с позитронами с энергией 30 GeV. При таких энергиях большая часть событий соответствует реакции фоторождения, в которой налетающий электрон рассеивается на очень малые углы, а квазиреальный фотон взаимодействует с протоном. При столь малой виртуальности фотона основным механизмом является флуктуация фотона в адронное состояние [1], которое взаимодействует с протоном сильным образом. Поэтому фоторождение при высоких энергиях показывает характеристики схожие с адрон-адронными взаимодействиями, но с сечением уменьшенным на множитель, равный по порядку величины постоянной тонкой структуры. Изучение мягких взаимодействий между фотоном и протоном, т.е. таких, при которых рождающиеся частицы имеют малые поперечные импульсы, является превосходным методом исследования и адронных составляющих фотона, и динамики дальнодействующей компоненты сильного взаимодействия.

Зависимость от энергии центра масс упругого, а вследствие оптической теоремы, и полного адрон-адронного сечения было описано в большой кинематической области в терминах феноменологии Редже [2]. В этом приближении сечения вычисляются через t-канальные обмены реджеонами, которые соответствуют мезонам [3] , и померонами [4], которые имеют квантовые числа вакуума. Процесс с t-канальным обменом помероном назы-

вается диффракционным. Такие события характеризуются наличием большой области в пространстве быстроты, в которой не рождаются адроны ("rapidity gap") и доминируют диффракционные обмены при больших энергиях центра масс и с малой массой диссоциации M_x. В диффракционных процессах бывают также события, в которых один или оба адрона диссоциируют в состояния с большей массой.

Экспериментальным результатам по реакциям диссоциации и их теоретическому обоснованию посвящен ряд статей [6, 7, 8, 9]. В области достаточно высоких энергий дифференциальное сечение диссоциации $d\sigma/dM_x^2$ почти не зависит от энергии сталкивающихся частиц в системе центра масс и спадает как $1/M_x^2$. Зависимость от квадрата переданного четырехимпульса t хорошо аппроксимируется экспонентой при малых t.

Как и в случае адрон-адронного взаимодействия, выделяются чисто упругие события и события диссоциативного фоторождения. Каждое событие рассматривается с точки зрения общего процесса $\gamma\ p \to X\ Y$ (см. Рис.1), где Y - это система частиц, которые вылетают наиболее близко к направлению протонного пучка.

Упругое рассеяние $\gamma\ p \to V\ p$ соответствует ситуации, когда система X - это векторный мезон $V = \rho^0, \omega, \phi, ...,$, а Y - протон. В однофотонной диссоциации $\gamma\ p \to X\ p$ протон остается нетронутым, а фотон диссоциирует в состояния с инвариантной массой M_x. Протонная диссоциация $\gamma\ p \to V\ Y$ отвечает случаю, когда в фотонной вершине рождается векторный мезон, а протон диссо-

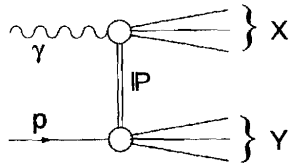

Рис. 1: Диффракционная диссоциация

циирует в систему с массой M_y. И, наконец, двойная диссоциация $\gamma p \to XY$, когда обе взаимодействующие частицы диссоциируют. Остальные процессы относятся к недиффракционным.

Системы частиц X и Y отделены друг от друга наибольшей "rapidity gap", которая вычисляется в фотон-протонной системе центра масс. Эта схема разделения событий дает возможность определять сечения без предположений о механизме взаимодействия. Однако, когда происходит обмен не бесцветным состоянием, то положение наибольшей "gap" определяется случайной флуктуацией, ее среднее значение мало и хотя бы одна из систем X или Y обычно имеет большую массу.

Кинематические переменные выражаются через 4-векторы налетающих протона и фотона, обозначаемые P и q соответственно, и через две компоненты конечного состояния, p_x и p_y. Тогда скаляры Лоренца запишутся в виде :

$$W^2 = (q+P)^2 \qquad t = (P - p_y)^2 \qquad M_x^2 = p_x^2 \qquad M_y^2 = p_y^2 \ ,$$

где W – полная энергия в системе центра масс фотона и протона, t – квадрат переданного 4-импульса, а M_x и M_y – инвариантные массы двух конечных адронных состояний. По отношениям M_x^2/W^2 и M_y^2/W^2 можно наиболее естественным образом различать те

кинематические области, в которых диффракция доминирует, и те, в которых другие обмены становятся важны.

2 Детектор H1

Компоненты детектора H1, которые необходимы при исследовании диффракционных событий коротко описаны в этой главе. Более детальное описание детектора можно найти в [10]. За направление вперед, положительное направление оси z, в эксперименте H1 было принято направление протонного пучка. Основные компоненты детектора показаны на Рис.2. При их рассмотрении удобно использовать понятие псевдобыстроты η, которое вводится через полярный угол θ : $\eta = -\log\tan\theta/2$, отсчитываемый от положительного направления оси z.

Электрон в конечном состоянии регистрируется в детекторе электронов, который находится в точке $z = -33$ м. Фотоны, рожденные от столкновений электронов, летят в очень малом телестном углу и детектируются в фотонной части системы светимости $z = -103$ м.

При помощи трековой и калориметрической информации из центральных частей детектора детектируется система X, и измеряются ее характеристики. Две концентрические дрейфовые камеры, находящиеся внутри соленоидального магнита, создающего поле 1.15 Тл, позволяют измерять заряженные треки в диапазоне $-1.5 < \eta < 1.5$. За дрейфовыми камерами находится жидкоаргонный калориметр , который дает информацию о части-

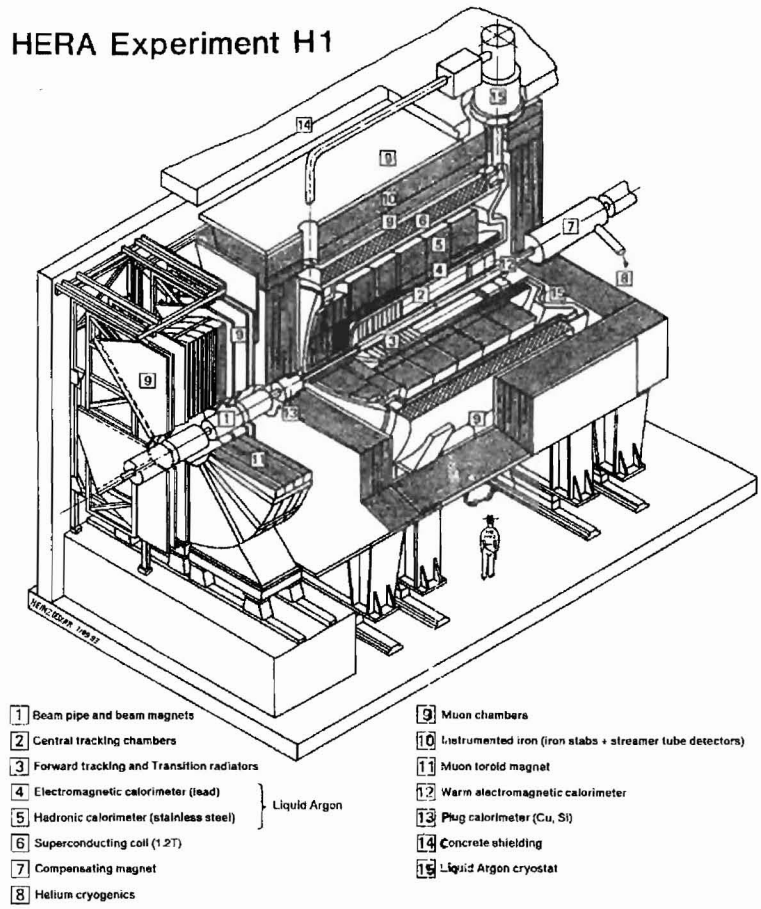

Рис. 2: Детектор H1

цах, летящих в диапазоне $-1.5 < \eta < 3.4$. Спагетти калориметр перекрывает область $-3.5 < \eta < -1.5$.

Передние компоненты детектора H1 используются для регистрации адронов при больших значениях псевдобыстроты [11, 12, 13, 14]. На коллайдере HERA центр масс ер системы движется со скоростью $\beta = 0.93$. Это значит, что и протон, и частицы, составляющие систему Y, летят под очень малыми углами к оси пучка. Они рассеиваются на стенках трубы, внутри которой в вакууме летят частицы, и на материале магнитов. Это дает ливни вторичных частиц, которые и детектируются. Для этой цели используются три двойных слоя дрейфовых камер передней мюонной системы и система регистрации (СР), состоящая из семи двойных сцинтилляционных счетчиков, установленных вокруг трубы пучка на 24 метре. Эти компоненты детектора H1 обеспечивают регистрацию частиц в диапазоне $5 < \eta < 7$. Для измерения импульса частиц системы Y в диффракционной диссоциации служит передний протонный спектрометр, установленный на расстоянии $z \sim 80$ м. Таким образом диапазон чувствительности детектора H1 составляет 11 единиц псевдобыстроты.

3 Система передних таггирующих счетчиков

Прогресс в исследовании дифракционных событий на коллайдере HERA в большенстве случаев зависит от методов выделения чисто диффракционных событий. Одну из ключевых ролей в этом играет высокая эффективность регистрации вторичных адронов

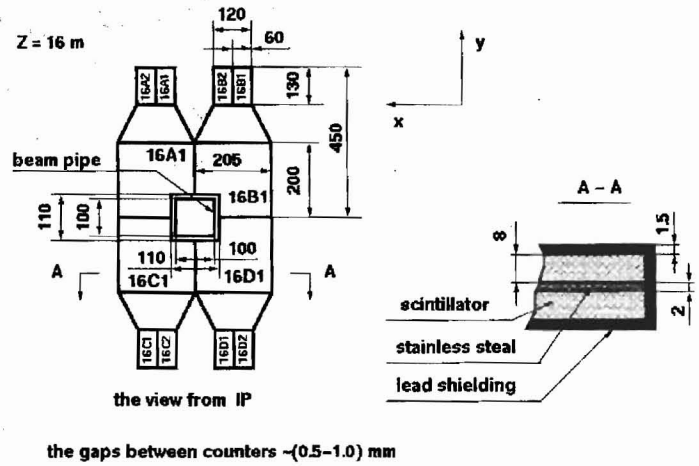

Рис. 3: Схема счетчиков 16-го метра.

при очень больших значениях псевдобыстроты. Для повышения эффективности регистрации была разработана система передних таггирующих счетчиков (СПТС) Она позволяет увеличить эффективность регистрации (таггирования) продуктов диффракционного распада протона.

Эти счетчики должны быть расположены вокруг трубы пучка, обеспечивая плотный охват, на расстояниях от 9 до 90 м. Они должны обладать хорошими временными характеристиками. Также эти детекторы должны легко устанавливаться и, в случаенадобности, легко удаляться.

Этим характеристикам удовлетворяют сцинтилляционные счетчики. Были сделаны три плоскости счетчиков, которые установлены вокруг трубы пучка перпендикулярно к ней на расстояниях $Z \sim 9, 3; 16, 4$ и 53,6 м. Каждая плоскость состоит из четырех модулей, геометрические размеры которых зависят от того, к какой

из трех плоскостей они принадлежат, геометрические размеры счетчиков 16-го метра, например, приведены на Рис.3. Каждый модуль состоит из двух сцинтилляционных счетчиков толщиной 8мм каждый, разделенных 2мм пластиной из нержавеющей стали и покрытых с внешней стороны 1,5 мм свинцом. Все это соединено между собой эпоксидной смолой.

Каждый счетчик представляет собой квадрат 150мм×150мм, один угол которого имел вырез по форме трубы. Для улучшения временных характеристик и увеличения светосбора каждый счетчик выполнен из $\sim$ 1600 сцинтилляционных волокон-световодов диаметром 1мм и длинной около 40см, расположенных параллельно одной из сторон квадрата и склеенных в необходимую форму при помощи эпоксидной смолы. Улучшение характеристик происходит из-за того, что в качестве световода между сцинтиллятором и ФЭУ используются те же волокна, из которых склеен счетчик. Их хвосты собраны в пучок, имеющий в сечении круг с радиусом равным радиусу входного окна ФЭУ. Эта форма также фиксируется при помощи эпоксидной смолы. Пластина из нержавеющей стали является границей между двумя счетчиками. Также она является плоскотью жесткости, к которой приварены две специальные пластины с дырками посередине, так называемые уши, при помощи которых и крепятся счетчики. Каждый модуль для защиты от синхротронного излучения закрыт с внешней стороны свинцом. В качестве ФЭУ, которые могут работать в магнитных полях, были установлены "Hamamatsu R2490-01". Все модули были оснащены светодиодом для мониторирования.

Выбор места, в котором были установлены счетчики, зависел от удобства установки счетчиков (вокруг трубы находятся магниты и вакуумные насосы), а также от хорошего разделения сигналов, вызванных электронным и протонным пучками (банчами, от "bunch"). Электронный и протонный банчи движутся внутри вакуумной трубы кольца коллайдера HERA, каждый внутри своей трубы. Электронные (протонные) банчи летят со скоростью близкой к скорости света, причем каждый следующий банч появляется через 96нсек после предыдущего.

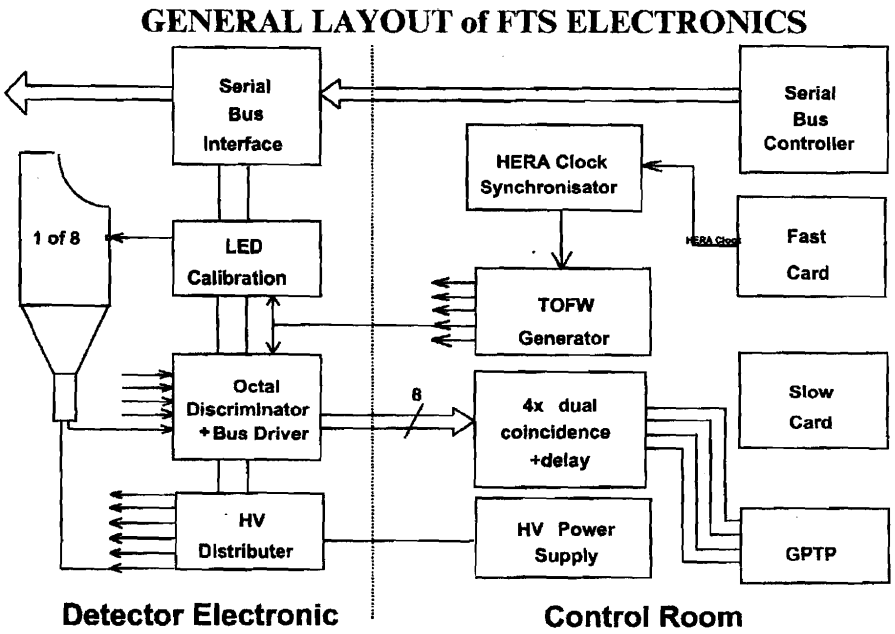

Рис. 4: Блок-схема электроники СПТС

4 Система съема информации

Схематически электроника Системы передних таггирующих счетчиков изображена на рис.4.

Она делится на электронику, которая расположена в туннеле кольца коллайдера HERA около каждой из плоскостей счетчиков, и электронику, которая расположена в контрольной комнате. Электроника в туннеле позволяет сразу смотреть совпадения двух счетчиков одного модуля, что сказывается на эффективности счетчиков.

4.1 Электроника в туннеле

Электроника одной плоскости системы расположена в малом крейте с питанием. Она состоит из 2-х и более модулей сдвоенных дискриминаторов с совпадениями, приемника/передатчика сигналов управления порогами в стандарте H1, совмещенного с генератором сигнала для светодиодной засветки, а также платы питания светодиодной засветки и системы распределения высоковольтного напряжения для питания ФЭУ.

1а) Сдвоенный дискриминатор со схемой совпадений.

Схема приведена на Рис.5. Входы а) и в) соответствуют одной паре сдвоенных счетчиков стенки. В качестве элемента дискриминации используются быстрые компараторы U1 MAX 968 с временем задержки 1.4 нсек. Пороги срабатывания THR1 и THR2 в диапазоне 25 мВ - 1.25 В можно дистанционно устанавливать напряжением ЦАП U21. Функция совпадения реализована про-

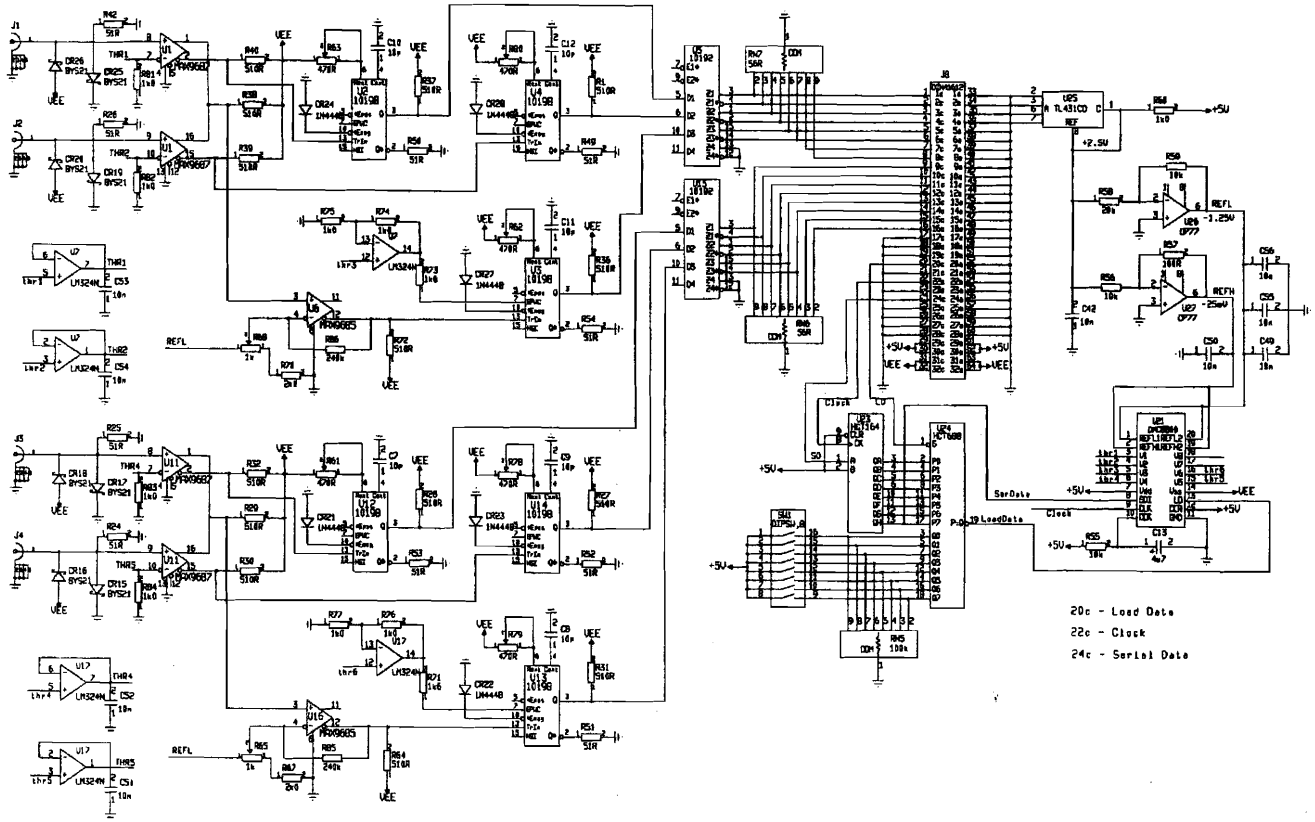

Рис.5. Сдвоенный дискриминатор со схемой совпадений.

водным "И" на общем сопротивлении нагрузки выходов 1 и 16. Обострение сигнала совпадения осуществляется быстрым компаратором MAX 9685, элемент U6. Продискриминированные сигналы стандартизуются по длительности одновибраторами на микросхеме 10198, выполненными по схеме с продлеванием. Если за время формирования пришел второй запускающий сигнал, то одновибратор перезапускается и формирует стандартную длительность. Этот факт особенно важен в случае 16-го и 55-го метров, когда электронный и протонный пучки проходят через плоскость стенки с итервалами 14 и 18 нсек и могут вызвать двойное срабатывание дискриминатора. Длительность импульсов в случае срабатывания от совпадений выставляется дистанционно в интервале 20-50 нсек. Сигналы одновибраторов преобразуются в комплементарные NIM сигналы драйверами линии 10192. Сформированные токовые сигналы поступают в контрольную комнату по коаксиальным кабелям, подключенным к разъему J8. Через этот же разъем приходят в модуль сигналы управления порогами и длительностью импульса совпадения.

1б) Модуль приемника/передатчика сигналов последовательной шины приведен на Рис.6. Он представляет собой преобразователь сигналов шины стандарта H1 в стандарт TTL, необходимый для управления порогами дискриминатора. Сигнал NIM, пришедший из пультовой на запуск засветки, преобразуется в 4 мощных TTL сигнала, запускающих схемы засветки светодиодов, дающие мониторирующие сигналы СПТС.

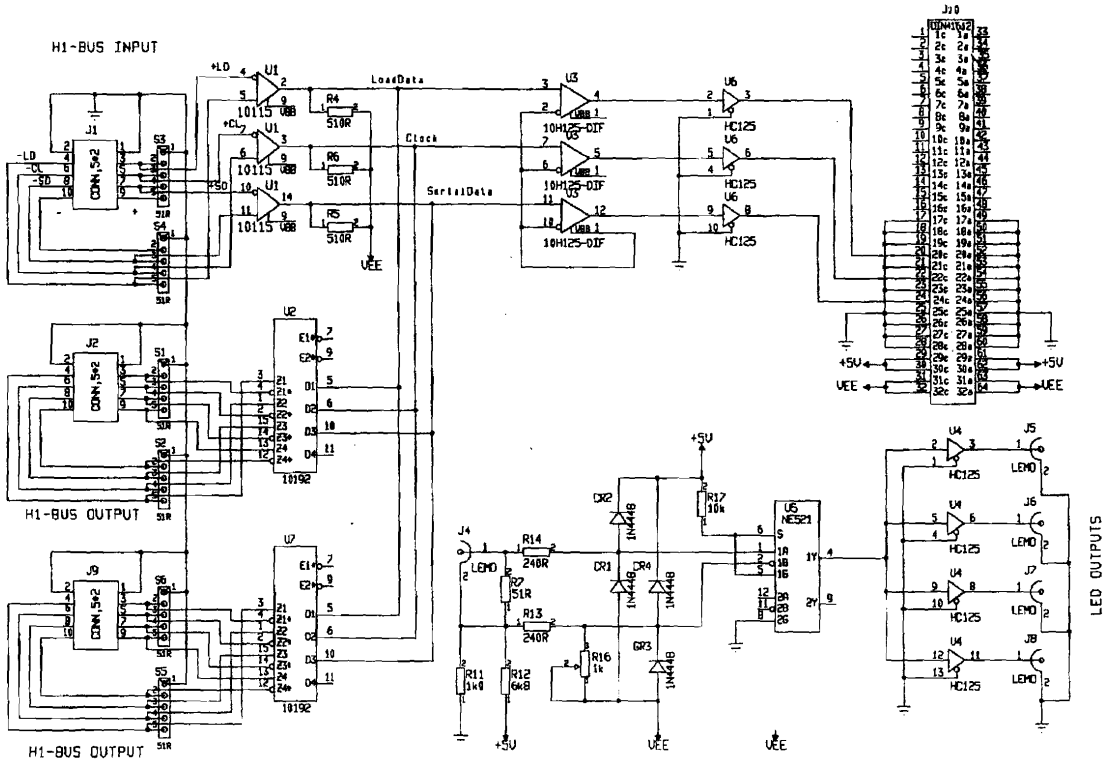

Рис.6. Модуль приемника/передатчика сигналов последовательной шины

4.2 Электроника в контрольной комнате

Электроника в контрольной комнате состоит из следующих частей :

- модуль абсолютного времени, привязанный к таймеру коллайдера HERA, так называемый сигнал "HERA CLOCK" (HCK), и дающий абсолютные временные сигналы для ворот и на запуск мониторных сигналов ;

- секция кабельных задержек ;

- блоки NIM для электронной задержки сигналов, запускающих генераторы засветки в туннеле ;

- модуль синхронизации для приема сигналов совпадений от элементов системы. На выходе модуля с задержкой в несколько периодов HCK появляется линейный позиционный код элементов системы, сработавших от данного ер столкновения, называемого "bunch crossing"(b.c.). Этот код заносится по сигналу HCK в стандартный модуль GPTP, откуда считывается процессором FIC в случае появления сигнала триггера L1 установки.

При регистрации событий дискриминаторы в туннеле вырабатывают 3 сигнала от каждой пары сдвоенных счетчиков :

- сигнал совпадений в стандарте NIM (или H1) ;

- индивидуальные сигналы от каждого счетчика для мониторирования системы и настройки порогов.

Сигналы сформированы по длительности до величины 20-30нс, что позволяет исключить зависимость длительности сигнала дискриминатора от превышения над порогом.

Основная временная настройка системы осуществляется в контрольной комнате. Модуль абсолютного времени вырабатывает короткие (несколько нсек) тактирующие сигналы, соответствующие времени прихода сигналов событий в модуль синхронизации и разрешающие их запись в первый разряд сдвиговых регистров. Временное разрешение настроенной системы должно быть не более нескольких наносекунд, что позволит уверенно разделить сигналы от протонов и синхротронного излучения, пришедшие с 14-18 нсек интервалами.

Рассчитаем глубину pipe-line модуля синхронизации. Время пролета протона от точки взаимодействия до плоскости :

1) 9 м : 0.3 м/нсек = 30 нсек

2) 16.5 м : 0.3 м/нсек = 55 нсек

3) 55 м : 0.3 м/нсек = 183 нсек

ФЭУ и дискриминаторы дают фиксированную задержку появления NIM сигнала в кабеле, примем для дальнейших вычислений Δt = 20 нсек. Задержка будет точно измерена позднее. Задержка в кабеле определяется его длиной. Стандартный кабель имеет задержку 5 нс/м . Если использовать в случае 1) сигнальный кабель на 5 метров длиннее, чем во 2), то сигналы придут в контрольную комнату синхронно.

Задержка сигнала от 55-го метра по сравнению с 16-ым метром

(183 нсек - 55 нсек) + (55 м - 16.5 м) $*$ 5 нсек/м = 320 нсек

т.е. сигнал может быть записан сдвинутым третьим тактом НСК, считая от 16-го метра.

Из этих предварительных расчетов видно, что глубина модуля

синхронизации не превышает пяти разрядов сдвигового регистра.

Функцию записи сигнала в первый разряд модуля целесообразно реализовать на элементах ECL-логики. Если сигнал со счетчиков на 55-ом метре записывается 3-им тактом НСК в быстрый разряд, то 4-ым тактом он может быть вынесен на выходной разъем модуля синхронизации. То есть требуется всего 2 разряда сдвига. Самым первым приходит сигнал с ближних стенок и он требует самой большой задержки в сдвиговом регистре, а именно - 4 такта НСК.

По четвертому такту НСК на выходе модуля образуется позиционный код сработавших детекторов, отвечающий одному ервзаимодействию.

Попробуем оценить абсолютное время в b.c. Время прихода сигнала в контрольную комнату от счетчика, расположенного на 16 метре, складывается из времени пролета, кабельной задержки и задержки, связанной с быстродействием ФЭУ и дискриминаторов.

55 нсек + 45 м * 5 нсек/м + 20 нсек = 300 нсек - 4 b.c.

Таким образом при установке всей системы, информация в карте GPTP появляется только на девятый такт НСК после ервзаимодействия.

5 Вычисление эффективности

При вычислении эффективности счетчиков были использованы события, полученные на генераторе событий PHOJET [15]. Опи-

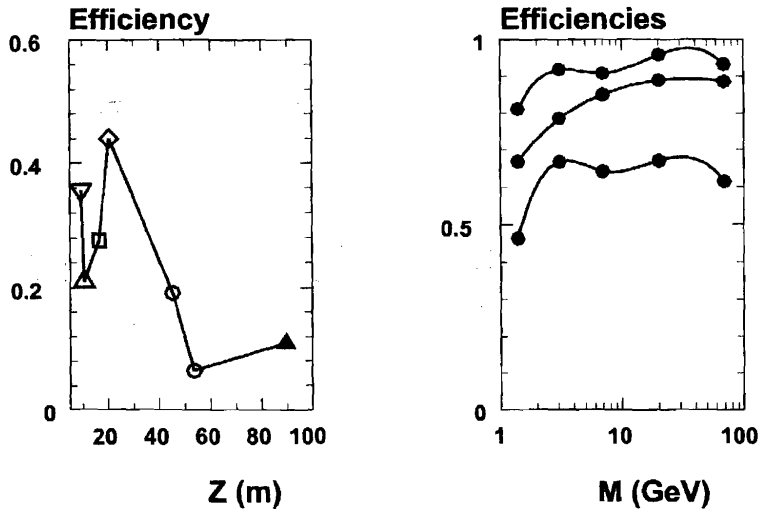

Рис. 7: Эффективность счетчиков

сание процесов мягкого фоторождения в этом генераторе основано на феноменологии Редже. Генератор производит события всех четырех типов процессов описанных в главе 1, а также события, в которых происходит обмен цветным объектом. Из всех событий отбирались только события, которые содержали диссоциацию протона, так как в этом случае частицы системы Y пролетали через СПТС. Сгенерированные события пропускались через симуляцию СПТС и СР, далее по отклику детекторов определялась эффективность. Были рассмотрены события с различными значениями диффракционной массы M_y. Было установлено, что СПТС позволяет увеличить эффективность регистрации продуктов диффракционного распада протона в диапазоне масс $M_y \cong 1.0 - 10.0\ GeV$ до 80-85% (см. Рис.7).

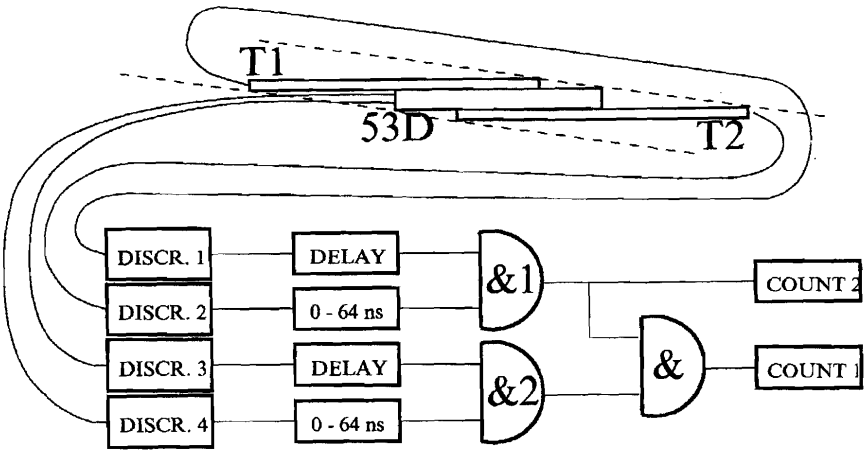

Рис. 8: Схема теста

6 Тестирование СПТС

Один из модулей СПТС (53D) был протестирован на космических лучах. Для этого была собрана следующая схема (см Рис.8). Триггер был собран на сцинтилляционных счетчиках T1 и T2, включенных на совпадение. Счетчики были расположены так, чтобы космическая частица, проходящая через триггерные счетчики, проходила бы и через тестируемые. Сигналы с каждого из четырех счетчиков (T1, T2, 53D1, 53D2) поступали на дискриминаторы, пропускавшие дальше только те из них, которые превышали порог. Далее каждый сигнал проходил линию задержки, которую можно было менять в диапазоне от 0 до 64нсек. После чего сигналы с триггерных и тестируемых счетчиков поступали на логические элементы &1 и &2, соответственно. Элемент вырабатывал сигнал, если разница времен прихода сигналов на первый вход и на второй вход не превышала заданного значе-

ния. Причем элемент &1 вырабатывал сигнал, так называемые ворота, длительностью 70нсек, а элемент &2 - длительностью 30нсек. С выхода элемента &1 число срабатываний триггера выводилось на счет (C2). А число срабатываний (C1) тестируемого модуля определялось как количество попаданий сигнала с выхода элемента &2 в ворота. Линия задержки была необходима для настройки схемы, а также для определения количества случайных совпадений триггерных и тестируемых счетчиков. Отношением C1 к C2 и определялась эффективность тестируемого счетчика.

Измерения показали, что при напряжениях 2,2 kV и 1,6 kV на тестируемых и триггерных счетчиках соответственно и при пороге равном 30mV на всех дискриминаторах эффективность тестируемого модуля равна 94%. При увеличении порога на тригерных счетчиках эффективность доходила до 97-98%.

7 Заключение

СПТС является компонентой детектора H1, играющей важную роль при изучении событий, связанных с диффракционной диссоциацией протона. Она является результатом сотрудничества DESY (Германия), University of Manchester (Великобритания), ИТЭФ'а и Физического Института им.Лебедева (г.Москва).

Я хочу поблагодарить В.Ефременко, В.Наговицина, А.Семенова и В.Солощенко, прочитавших черновики и сделавших ряд полезных замечаний.

Я также признателен В.Чернышеву и С.Чечельницкому за по-

мощь при работе над статьей.

Заслуга в появлении четветой главы принадлежит П.Смирнову, за что ему огромное спасибо.

Литература

[1] j.Sakurai, Ann. Phys.//1960, V.11, P.1.
D.Yennie, Rev. Mod. Phys.//1975, V.47, P.311.

[2] Regge, Nuovo Cimento//1959, V.14, P.951.
Regge, Nuovo Cimento//1960, V.18, P.947.

[3] G.Chew, S.Frautschi, S.Mandelstam, Phys. Rev.//1962, V.126, P.1202.

[4] G.Chew, S.Frautschi, S.Mandelstam, Phys. Rev. Lett.//1961, V.7, P.394.

[5] E.Feinberg, I.Pomerancuk, Suppl. Nuovo Cimento//1956, V.3, P.652
M.Good, W.Walker, Phys. Rev.//1960, V.120, P.1857.

[6] A.Kaidalov, Phys. Rep.//1979, V.50, P.157.

[7] G. Alberi, G. Goggi, Phys. Rep.//1981, V.74, P.1.

[8] K. Goulianos, Phys. Rep.//1983, V.101, P.169.

[9] N. Zotov, V. Tsarev, Sov. Phys. Usp.//1988, V.31, P.119.

[10] H1 Collaboration, I. Abt et al., Nucl.Instr.&Meth.//1997, V.A386, P.310.

H1 Collaboration, I. Abt et al., Nucl.Instr.&Meth.//1997, V.A386, P.348.

[11] H1 Collaboration, T. Ahmed et al., Phys. Lett.//1995, V.B348, P.681.

[12] H1 Collaboration, S. Aid et al., Z. Phys.//1996, V.C70, P.609.
H1 Collaboration, S. Aid et al., Nucl.Phys.//1996, V.B468, P.3.

[13] H1 Collaboration, S. Aid et al., Nucl.Phys.//1996, V.B463, P.3.

[14] H1 Collaboration, S. Aid et al., Nucl.Phys.//1996, V.B472, P.3.

[15] R.Engel, Z. Phys.//1995, V.C66, P.203.
R.Engel, J.Ranft, Phys. Rev.//1996, V.D54, P.4244.

Подписано к печати 21.04.97 Формат 60x90 1/16 Офсетн.печ.
Усл.-печ,л.1,25. Уч.-изд.л.0,9. Тираж 81 экз. Заказ 20.
Индекс 3649