

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-166

P1-95-166

И.В.Богуславский, М.Ю.Боголюбский¹, М.А.Запорожец²

ПРОСТОЙ p_1 -ТРИГГЕР НА СОБЫТИЯ
С ОЧАРОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

¹Институт физики высоких энергий, Протвино

²Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

1995

ВВЕДЕНИЕ

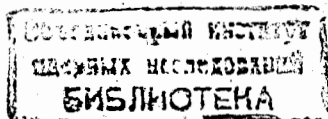
Одной из задач эксп.Е-161 [1] на установке СВД (спектрометр с вершинным детектором) является регистрация рождения очарованных частиц при околопороговой энергии $\sqrt{s} \sim 11,5$ ГэВ. Сечение указанного процесса мало, и важной задачей является создание триггера для обогащения экспериментальной выборки очарованными частицами. В [2] проанализирован триггер, сводящийся к быстрому вычислению промаха вторичных треков относительно первичной вершины. Достижимый коэффициент обогащения составляет здесь $\sim 4-5$ при эффективности регистрации очарованных взаимодействий $\sim 25\%$. В данной работе рассматривается другой вариант триггера, использующий специфические свойства кинематики распада чарма — повышенный поперечный импульс распадных частиц и, следовательно, большой конус их углового разлета. В [3] предложена реализация триггера с помощью годоскопа, расположенного за магнитом. В [4, 5] проанализировано его применение для выделения B - мезонов при энергиях 3 и 20 ТэВ.

1 Экспериментальная установка

Состав экспериментального оборудования СВД изображен на рис.1: Система координат выбрана так, что продольная ось Z лежит вдоль направления распространения пучка, а оси X и Y направлены горизонтально и вертикально соответственно. Установка состоит из следующих главных частей: мишени, широкоапертурного магнитного спектрометра (ШМС), спинтилляционного годоскопа (СГ-10) и электромагнитного калориметра для детектирования γ -квантов (ДЕГА-2000).

В качестве мишени применяется вершинный детектор в виде жидководородной быстроциклирующей пузырьковой камеры (БЦПК), которая спереди и сзади обставлена телескопами из микростриповых кремниевых детекторов [6] и пропорциональных камер. Пространственное разрешение БЦПК составляет примерно 15 мкм, размеры используемого эффективного объема равны $0,2 \times 4 \times 5$ см.

ШМС выполнен на основе модифицированного магнита от камеры "Людмила" с апертурой $1,8 \times 1,3$ м, между полюсами которого установлены пропорциональные камеры. Вектор магнитного поля направлен



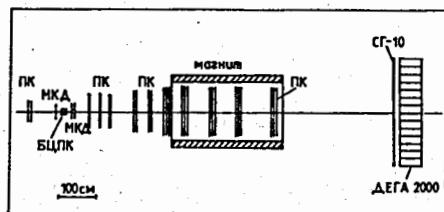


Рис.1. Схематическое изображение установки СВД, вид сверху. МКД – микростриповые кремниевые детекторы, ПК – пропорциональные камеры

Таблица 1

Координаты центров полос годоскопа и весовые коэффициенты W_i оптимального мультипликативного фильтра из выражения (4)

номер полосы	1	2	3	4	5
Y-координата центра полосы, см	10	30	50	70	90
W_i	0	0,809	1,26	1,58	1,35

ПРИМЕЧАНИЕ

Нижние полосы годоскопа с номерами 6,7,8,9 и 10 расположены симметрично относительно верхних и имеют Y-координаты их центров (в см): -10, -30, -50, -70 и -90 соответственно. Из соображений симметрии $W_6 = W_1$, $W_7 = W_2$, $W_8 = W_3$, $W_9 = W_4$, $W_{10} = W_5$.

вертикально, его величина составляет 11 кГс в центре магнита (подробные результаты измерения поля приведены в [7]).

Сцинтилляционный годоскоп (СГ-10), состоящий из десяти горизонтальных полос шириной 20 см и длиной 2 м, установлен непосредственно перед ДЕФА. Пучок падает на центр годоскопа перпендикулярно его плоскости. Принятая нумерация полос и Y-координаты их центров приведены в табл.1.

При реализации триггера магнит предназначен для отсеивания мягких фоновых частиц, а годоскоп – для измерения углов вылета дошедших до него заряженных треков. При этом отбор частиц с большим зарегистрированным углом будет соответствовать их отбору по повышенному p_t .

2 Алгоритм триггера

В каждом событии регистрируется некоторое распределение отсчетов в полосах годоскопа. Это распределение образует сигнал $s(y)$, несущий информацию о наличии чарма (или его отсутствии). Так как распад очарованных частиц характеризуется широким конусом разлета, то в простейшем варианте критерий отбора чарма сводится к проверке неравенства

$$|Y|_{max} > C_{cut}, \quad (1)$$

где $|Y|_{max}$ - наибольшая по модулю координата, зарегистрированная в годоскопе в данном событии, C_{cut} - параметр обрезания. Можно ужесточить критерий, наложив ограничения на две величины:

$$(Y_{max} > C_{cut}) \wedge (Y_{min} < -C_{cut}), \quad (2)$$

где \wedge - логическая операция "И", Y_{max} - наибольшая координата, а Y_{min} - наименьшая координата для частиц, попавших соответственно в верхнюю и нижнюю половины годоскопа.

Как отмечено в [4], лучших результатов можно добиться, если использовать информацию со всех полос годоскопа и вычислять для каждого события сумму

$$S = \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot n_i \quad (3)$$

с правилом отбора $S > C_{cut}$, здесь число отсчетов в i -й полосе $n_i = 0$, если в полосу годоскопа нет попаданий, и $n_i = 1$, если в полосу попала одна или более заряженных частиц, y_i - Y -координата центра i -й полосы; сумма берется по всем полосам.

По существу, такая запись сводится к выбору целевого функционала $F(s)$, зависящего от сигнала s и предназначенного для отбора чарма по пороговому критерию $F(s) > C_{cut}$. Чтобы определить насколько оптимален выбор функционала, рассмотрим более общий его вид:

$$F(s) = \sum_{i=1}^{10} W_i |y_i| n_i, \quad (4)$$

где $W_i \geq 0$ - весовые коэффициенты. При $W_1 = W_2 = \dots = W_{10} = 1$ последний функционал сводится к (3). Примем так же следующее условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^{10} W_i = 10. \quad (5)$$

Коэффициенты W_i можно рассматривать как мультипликативный фильтр сигнала. Естественно требовать, чтобы он максимально выделял полезный сигнал (чарм) и эффективно подавлял фон. Усредняя равенство (4) сначала по множеству чармованных, а затем фоновых событий, получаем соответствующие средние значения $\langle F^c \rangle = (\vec{W}, \vec{C})$ и $\langle F^B \rangle = (\vec{W}, \vec{B})$ в виде скалярного произведения вектора \vec{W} , компоненты которого - весовые коэффициенты W_i , на векторы \vec{C} или \vec{B} . Координаты последних есть: $C_i = \langle n_i^c \rangle |y_i|$, $B_i = \langle n_i^B \rangle |y_i|$, $i = 1, 2, \dots, 10$; $\langle n_i^c \rangle$ и $\langle n_i^B \rangle$ - среднее количество отсчетов на одно чармованное и одно фоновое событие в i -й полосе годоскопа. Попробуем найти вектор \vec{W} так, чтобы $\langle F^c \rangle$ имело максимум при минимуме (по модулю) $\langle F^B \rangle$. Выбор \vec{W} основан на использовании априорной информации о векторах \vec{C} и \vec{B} , содержащих данные о среднеожидаемом числе отсчетов для чарма и фона.

Исходя из свойств скалярного произведения заключаем, что для максимума $\langle F^c \rangle$ следует принять коллинеарность $\vec{W} \sim \vec{C}$, а для минимальности (по модулю) $\langle F^B \rangle$ необходимо принять ортогональность $\vec{W} \perp \vec{B}$. В общем случае такие два условия на \vec{W} не могут быть удовлетворены одновременно. Решение состоит в том, чтобы выбрать в качестве \vec{W} компоненту вектора \vec{C} , ортогональную к \vec{B} , т.е.

$$W_i = \alpha [C_i - B_i \sum_{j=1}^{10} C_j B_j / \sum_{k=1}^{10} B_k^2], \quad i = 1, 2, \dots, 10. \quad (6)$$

Необходимо дополнительно учесть требование положительной определенности весовых коэффициентов W_i и положить нулю те из них, которые получаются отрицательными из требования ортогональности. Общий множитель α находится из условия нормировки (5).

3 Результаты моделирования

Моделирование осуществлялось методом Монте-Карло по программе RUTHIA (версия 5.3), которая симулировала процессы pp -столкновений при 70 ГэВ/с как с рождением очарованных частиц, так и без них. Всего для анализа было сгенерировано 1 тыс. событий с чармом и отдельно - столько же фоновых событий без чарма.

Геометрия установки описывалась программой GEANT3. Положение точки первичного взаимодействия разыгрывалось по всему эффективно-му объему мишени. Каждая рожденная частица трассировалась через установку с учетом реальной карты магнитного поля [7] для заряженных треков. Нестабильные частицы прослеживались до точки распада, а затем вся процедура повторялась для распадных треков. Для тех из заряженных частиц, которые проходили через магнит и попадали в годоскоп, определялась с учетом пространственного разрешения Y -координата, за измеренное значение принималось положение центра полосы.

На рис.2 представлено среднее число отсчетов $\langle n^c \rangle$ на одно чармованное событие для различных полос годоскопа, там же приведена для сравнения аналогичная величина $\langle n^B \rangle$ для фона. Для центральных полос годоскопа с номерами 1 и 6 эти две величины $\langle n^c \rangle$ и $\langle n^B \rangle$ совпадают, т.е. использование этих полос малоинформативно для целей выделения чарма. Для остальных полос наблюдается увеличение $\langle n^c \rangle$ над $\langle n^B \rangle$ с ростом расстояния от центра годоскопа.

Рис.3 показывает распределение по $|Y|_{max}$ для чармованных и фоновых взаимодействий. Видно, что имеется заметная разница в форме приведенных для сравнения зависимостей, которая может быть использована для построения триггерных критериев.

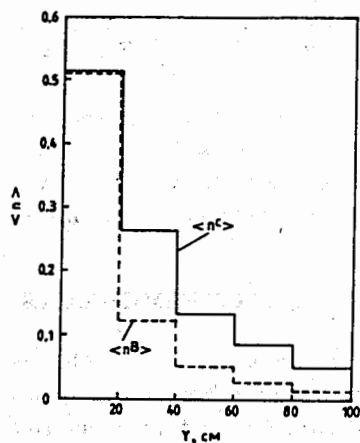


Рис.2. Среднее число отсчетов $\langle n \rangle$ в полосах годоскопа в расчете на одно чарованное событие (сплошная линия) и одно фоновое (пунктир). В силу симметрии показана только часть распределения при $Y > 0$

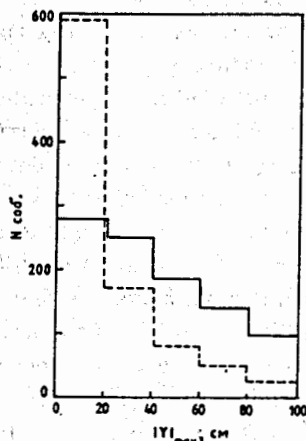


Рис.3. Распределение по $|Y|_{\text{max}}$ для чарованных событий (сплошная линия) и фона (пунктир). Распределения нормированы на 1000 сгенерированных чарованных и 1000 сгенерированных фоновых событий соответственно

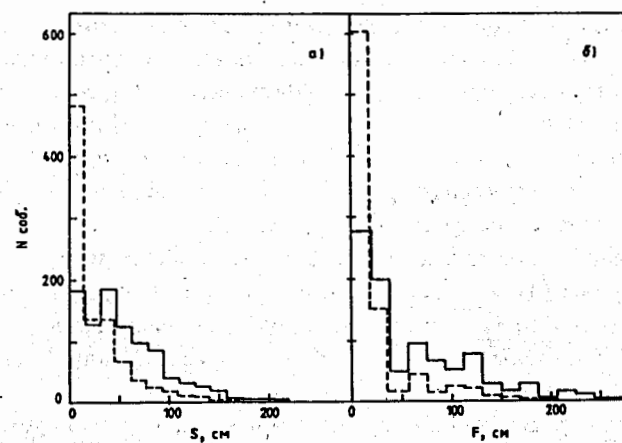


Рис.4. Распределение значений целевых функционалов S - (а) и F - (б), вычисленных по формулам (3) и (4), для чарма (сплошная линия) и фона (пунктир). Распределения нормированы на 1000 сгенерированных чарованных и 1000 сгенерированных фоновых событий соответственно

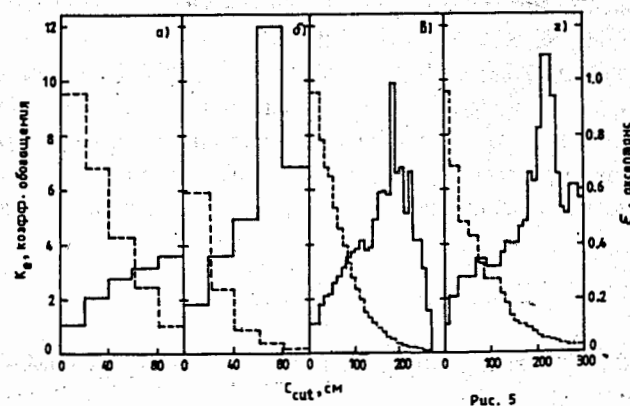


Рис.5. Коэффициент обогащения экспериментальной выборки чарованными событиями K_e (сплошная линия) и акцептанс для чарма ϵ (пунктир) для четырех вариантов триггера (1), (2), (3) и (4) соответственно на (а), (б), (в) и (г)

Нами были исследованы четыре варианта триггера, определяемые выражениями (1)-(4). Для варианта (4) использовался оптимальный мультипликативный фильтр с весовыми коэффициентами W_i , найденными на основании данных по $\langle n^c \rangle$ и $\langle n^B \rangle$ из рис.2. Численные значения коэффициентов даны в табл.1. Для центральных полос (с номерами 1 и 6) коэффициенты равны нулю, что объясняется большой заселенностью этих полос фоновыми частицами.

Распределение значений целевых функционалов S и F , вычисляемых по формулам (3) и (4), представлено на рис.4. Средние значения этих функционалов практически совпадают для чармованных взаимодействий, а для фоновых – среднее значение функционала F примерно на 35% меньше, чем для S .

Результаты определения коэффициента обогащения экспериментальной выборки чармом K_e и аксептанса для чарма ϵ приведены на рис.5 для четырех вариантов триггера (1)-(4) как функция порогового параметра обрезания C_{cut} . Так, при $C_{cut} = 60$ см вариант (1) сводится к требованию попадания хотя бы одной частицы в одну из крайних полос годоскопа: 4,5,9 или 10, а вариант (2) - к требованию наличия двух отсчетов: один - из полос 4 или 5 и одновременно другой - из полос 9 или 10. Величины коэффициента обогащения и аксептанса составляют при этом 3,3 и 25% для варианта (1), 12 и 5% для варианта (2) соответственно. При $C_{cut} = 20$ см вариант (2) дает $K_e \simeq 3,5$ при $\epsilon \simeq 25\%$.

В целом можно сделать вывод, что при данной конфигурации экспериментальной установки нет очень большой разности в получаемых результатах в зависимости от варианта триггера. Но все же вариант (4) несколько более предпочтителен, для него $K_e \simeq 4$ при $\epsilon \simeq (20 - 25)\%$. Можно получить обогащение $K_e \simeq 11$, но при уменьшении аксептанса до $\epsilon \simeq 5\%$.

ВЫВОДЫ

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Рассмотрен простой триггер, выделяющий чарм по специфическим свойствам кинематики его распада – их повышенному поперечному импульсу и, следовательно, большому конусу разлета распадных частиц. Практическая реализация достигается измерением углов вылета в

10-канальном годоскопе с горизонтальными сцинтилляционными полосами длиной 2 м и шириной 20 см, установленном за широкоапертурным магнитом с вертикальным вектором индукции поля, который отсеивает мягкие частицы фона.

2. Проанализированы варианты алгоритма триггера методом Монте-Карло по программам PUTHIA и GEANT3. Предложен способ построения оптимального алгоритма триггера, где вводится целевой функционал $F(s)$, зависящий от зарегистрированного сигнала s и предназначенный для выделения чарма по пороговому критерию $F(s) > C_{cut}$. Весовые коэффициенты функционала являются мультипликативным фильтром, предназначенным для выделения полезного сигнала (чарма) при сильном подавлении фона. Оптимальное задание фильтра опирается на некоторую априорную информацию о свойствах полезного сигнала и фона. В пространстве среднеожидаемых отсчетов годоскопа весовые коэффициенты оптимального фильтра определяются ортогональной к \vec{B} компонентой вектора \vec{C} , где \vec{C} и \vec{B} – соответствующие образы чарма и фона.

3. Для установки СВД с вершинным детектором в pp -взаимодействиях при 70 ГэВ/с найдены коэффициенты обогащения экспериментальной выборки чармом K_e и аксептанса для чарма ϵ при различных вариантах триггера в зависимости от значения порогового параметра обрезания на анализируемую в триггере величину. $K_e \simeq 4$ при $\epsilon \simeq (20 - 25)\%$. Можно получить и большее обогащение $K_e \simeq 11 - 12$, но ценой уменьшения аксептанса до $\epsilon \simeq 5\%$.

Список литературы

- [1] А.М.Андрищин, Е.Н.Ардашев, В.В.Бабинцев и др.// Препринт ИФВЭ 84-3,Серпухов,(1984).
- [2] М.Ю.Боголюбский, А.Е.Кирюнин, А.М.Моисеев и др.//Труды ТГУ,"Физика", т.125,с.118,1988.

- [3] И.В.Богуславский, Г.Г.Тахтамышев//Препринт ОИЯИ, P1-89-219, Дубна,1989.
- [4] Э.Я.Морозов, Л.А.Пермяков, Г.Г.Тахтамышев//Препринт ОИЯИ, P1-91-65, Дубна,1991.
- [5] I.R.Boyko, G.G.Takhtamyshev//Preprint JINR,E1-92-414, Dubna,1992.
- [6] М.Ю.Боголюбский, Л.Л.Курчашнов, А.К.Лефлат и др//Препринт ИФВЭ, 91-172, Протвино,1991.
- [7] И.В.Богуславский, А.И.Григорьев, Ю.Д.Зернин и др//Препринт ОИЯИ, P1-90-247, Дубна,1990.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 1995 года.