



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 96-94

ОНФ

М.Ю. Боголюбский, В.Н. Рядовиков

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ГОДОСКОПА  
В ТРИГГЕРЕ 1-ГО УРОВНЯ УСТАНОВКИ СВД-2  
ДЛЯ ПОИСКА ОЧАРОВАННЫХ ЧАСТИЦ  
В АДРОН-АДРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ**

Протвино 1996

### Аннотация

Боголюбский М.Ю. и др. Использование сцинтилляционного годоскопа в триггере 1-го уровня установки СВД-2 для поиска очарованных частиц в адрон-адронных взаимодействиях: Препринт ИФВЭ 96-94. – Протвино, 1996. – 10 с., 7 рис., 3 табл., библиогр.: 3.

Используя разницу в заселении плоскостей сцинтилляционного годоскопа заряженными треками от событий с чармом и от фоновых событий, предлагается схема включения годоскопа установки СВД-2 в триггер 1-го уровня, которая позволяет получить высокую степень обогащения выборки событиями с распадами очарованных частиц. Имеется также возможность настройки триггера на выделение событий с данной модой распада чарма. Численные оценки получены методом Монте-Карло с розыгрышем  $pp$ -взаимодействий при 70 ГэВ/с и описанием установки по программам PITHIA и GEANT3.

### Abstract

Bogolyubsky M.Y. et al. Using of Scintillator Godoscope in 1-Level Trigger of SVD-Setup for Search of Charmed Particles in Hadron-Hadron Interactions: IHEP Preprint 96-94. – Protvino, 1996. – p. 10, figs. 7, tables 3, refs.: 3.

Using the difference in the charged particles tracks occupation of two planes scintillator godoscope from charm production and background events we propose to include this godoscope into the first-level trigger of new SVD setup, that allow to enrich the experimental sample with charm particles. It is possible to optimize those trigger to select the charm events with the fixed in advance decay mode. The quantitative results have been obtained by Monte-Carlo simulation of  $pp$ -interactions at 70 GeV/c and set-up description in the programs PITHIA and GEANT3.

## Введение

Подробное описание сцинтилляционного годоскопа (ГД-11) установки СВД-2 дано в Предложении эксперимента [1]. Простейшая схема включения ГД-11 в триггер 1-го уровня приведена в работе [2]. Утверждается, что использование информации только с  $Y$ -плоскости годоскопа позволит уменьшить в 2 раза уровень фона по отношению ко всем событиям с чармом. При этом теряется половина событий с очарованными частицами. Обратим внимание на слова “только” и “всем”. Слово “только” означает, что информация с  $X$ -плоскости годоскопа не используется в триггере, что, как будет показано ниже, делать желательно. Оценки степени подавления фона были выполнены для “всех” событий, в которых рождается чарм, независимо от моды его распада и направления вылета в с.ц.м. Но, как показано в работе [3], аксептанс установки СВД-2 позволяет регистрировать (т.е. измерять все продукты их распада) только очарованные частицы, летящие вперед в с.ц.м.

Эффективность регистрации зависит от моды распада  $D^\pm, D^0(\bar{D}^0)$ -мезонов и  $\Lambda_c^+$ -гиперона. Поэтому важно знать степень подавления триггером “нужных” событий, т.е. событий, в которых очарованная частица может быть восстановлена по измеренным продуктам ее распада.

### 1. Алгоритм триггера

В данной работе мы имели возможность в разработке схемы триггирования моделировать события с определенным каналом распада очарованной частицы (программа PYTHIA), прохождение этих событий через установку (программа GEANT) и с помощью простейшей процедуры восстановления [3] определять ошибку в измерении импульса заряженного трека, а на основании этого говорить об измеримости той или другой очарованной частицы. Измеримая частица — это та частица, импульсы продуктов распада которой измерены с относительной ошибкой, лучшей чем 25%. В дальнейших рассуждениях под событиями с чармом будут подразумеваться события, в которых хотя бы одна очарованная частица ( $D^+, \bar{D}^0, \Lambda_c^+$ ) — измерима. Фоновые события (1000 штук) от реакции  $pp \rightarrow X$  моделировались также программами PYTHIA и GEANT.

На рис.1 показана картина заселенности плоскости годоскопа заряженными треками от фоновых событий (рис.1а) и событий с чармом (рис.1б). Мы видим, что характер заселенности отличается как по координате  $Y$ , так и по координате  $X$ . На использовании этих отличий и будет строиться схема нашего триггера.

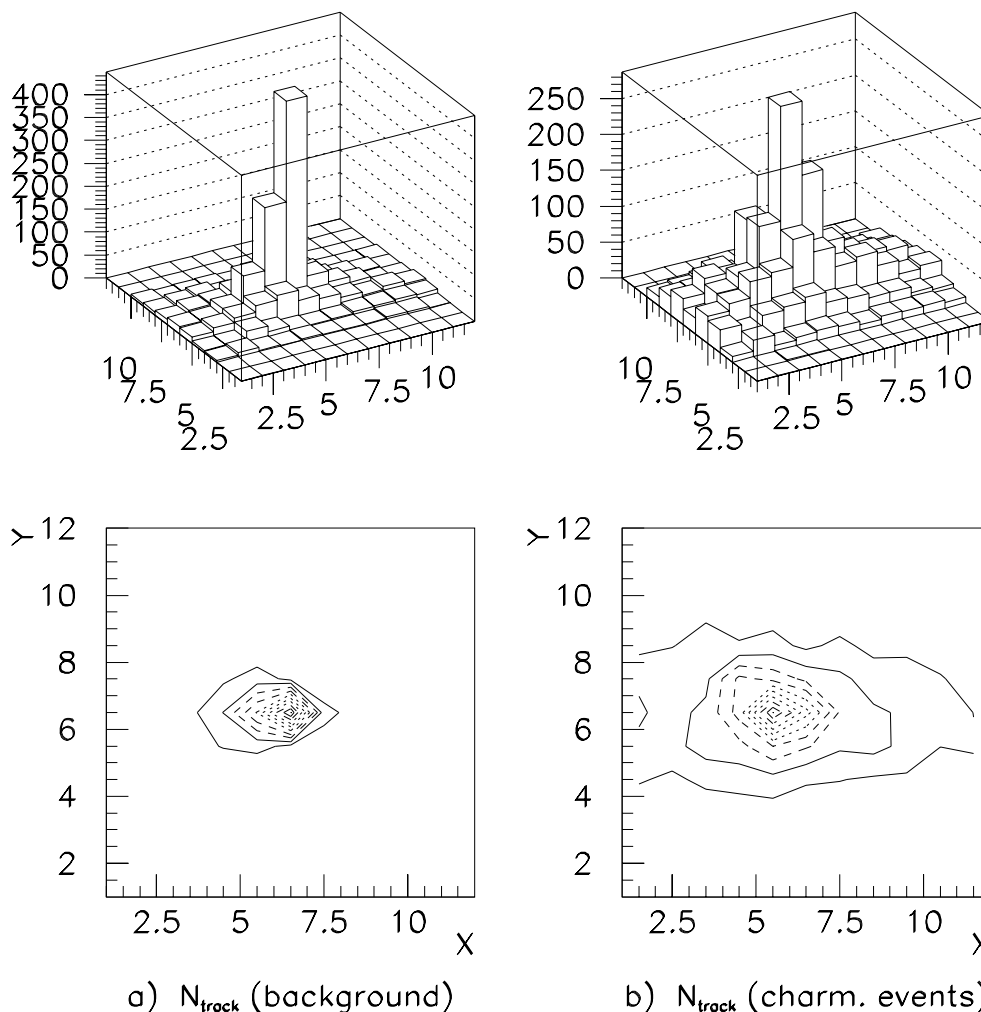


Рис. 1. Заселенность плоскости годоскопа: а) заряженными треками от фоновых событий (1000 шт.), б) заряженными треками от событий с чармом (1011 шт.).

Введем обозначения характеристик события с точки зрения регистрации его в ГД-11. Так как имеется две независимые плоскости с вертикальным и горизонтальным расположением сцинтилляционных полос (ширина полосы 20 см), то каждая характеристика имеет два параметра, связанных с осями  $X$  и  $Y$  соответственно. Итак, имеем:

1. “Вес” события — количество засвеченных полос в каждой из плоскостей ( $N_X$ ,  $N_Y$ ).
2. “Размер” события — расстояние (в единицах измерения — 1 полоса) между крайними засвеченными полосами ( $L_X$ ,  $L_Y$ ).

3. “Момент” события — наибольшее удаление засвеченной полосы от оси симметрии, которая проходит через линию пучка, в тех же единицах измерения (MX, MY).

Очевидные пределы изменения данных параметров следующие:

(а) Минимальное значение каждого из параметров равно 1. Для MX и MY это означает, что если засвечена только центральная полоса (номер 6), то MX (MY) равно 1, если засвечена соседняя полоса (номера 5, 7), то MX (MY) равно 2 и т.д.

(б) Максимальное значение (NX, NY, LX, LY) равно 11 (число полос в каждой плоскости годоскопа), для MX, MY оно равно 6.

(в) Для каждого события NX и NY равно или меньше (когда несколько треков попали в одну и ту же полосу) количества заряженных треков, прошедших через плоскость годоскопа.

На рис.2 приведены распределения по 6 параметрам, которые мы ввели, для фоновых событий и событий с измеримым чармом. В качестве событий с чармом использовалась выборка, которая содержит смесь событий с  $\bar{D}^0, D^+$  и  $\Lambda_c^+$  пропорционально их выходам, получаемым программой PUTHIA, и эффективностям измерения, вычисляемым в программе GEANT. Количество событий с данной чармованной частицей, распадающейся по определенной моде распада, пропорционально брэнчингу данного канала. В табл.1 приведены числа событий для каждого типа чармованной частицы и канала ее распада. Из рис.2 мы видим, что распределения по каждому из 6 параметров для фоновых событий и событий с чармом резко отличаются. Это позволяет организовать триггер с помощью обрезаний по каждому из параметров. Естественно, при обрезании, уменьшая количество фоновых событий, мы также теряем и некоторую долю нужных событий.

Таблица 1. Числа событий в эталонной выборке.

Частица \ Канал распада	1	2	3	4	5	6	7	$\Sigma$
$D^0$	111	53	29	208	32	26	-	459
$D^+$	92	12	11	20	8	10	3	156
$\Lambda_c^+$	214	62	47	38	35	-	-	396

Итого: 1011 событий с измеримым чармом.

$$\begin{array}{llll}
\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^- & (1) & D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+ & (1) & \Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+ & (1) \\
\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0 & (2) & D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^0 & (2) & \Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0\rho^+ & (2) \\
\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0\pi^0 & (3) & D^+ \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^0 & (3) & \Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0\pi^+\pi^+\pi^- & (3) \\
\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^- & (4) & D^+ \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^+\pi^- & (4) & \Lambda_c^+ \rightarrow p\bar{K}^0 & (4) \\
\bar{D}^0 \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^- & (5) & D^+ \rightarrow \bar{K}^0\pi^+ & (5) & \Lambda_c^+ \rightarrow p\bar{K}^0\pi^+\pi^- & (5) \\
\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0 & (6) & D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^+\pi^- & (6) & & \\
& & D^+ \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^+\pi^-\pi^0 & (7) & & 
\end{array}$$

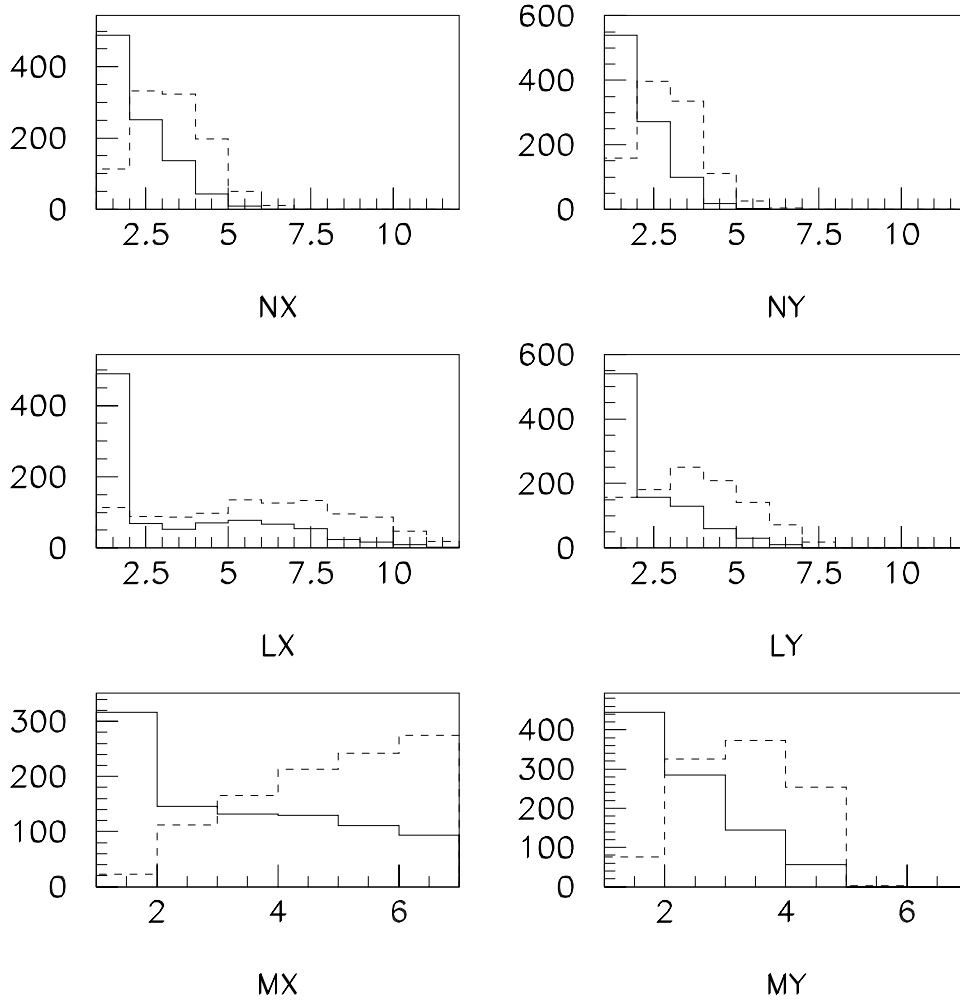
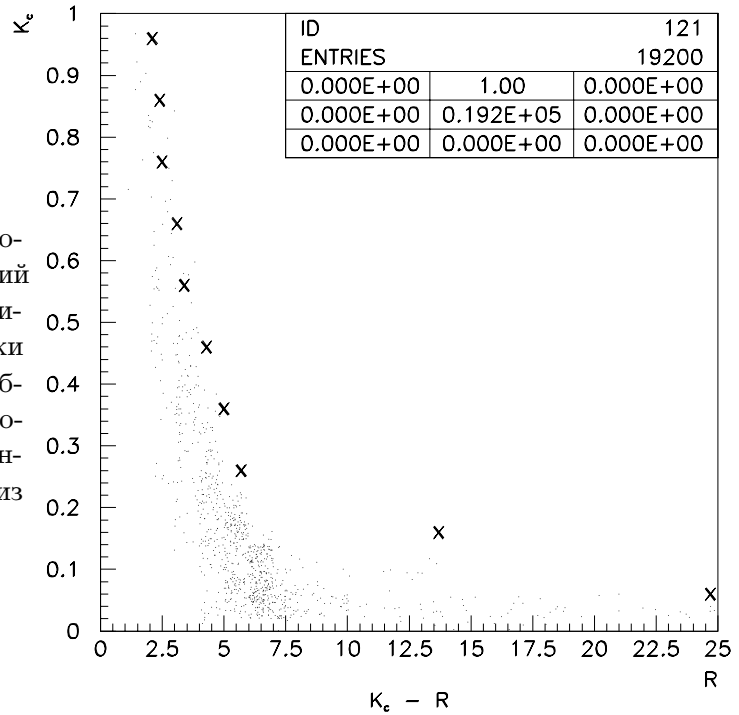


Рис. 2. Распределения по параметрам события: сплошная линия — для фоновых событий; пунктирная линия — для событий с чармом.

## 2. Оптимизация триггера

Если обозначить через  $N_0^b$  и  $N_{tr}^b$  ( $N_0^c$  и  $N_{tr}^c$ ) числа фоновых (с чармом) событий до и после обрезаний, то отношение  $K_b = N_{tr}^b/N_0^b$  ( $K_c = N_{tr}^c/N_0^c$ ) дает долю фоновых (с чармом) событий после обрезаний. А величина  $R = K_c/K_b$  выражает степень обогащения выборки событиями с чармом. Для каждого набора обрезаний мы имеем свои значения  $K_c$  (доля оставшихся полезных событий) и  $R$  (обогащение). Проблема состоит в том, что с помощью выбранного триггера (набора обрезаний по параметрам события в годоскопе) можно сохранить большую долю полезных событий, но иметь незначительное обогащение выборки, и наоборот, иметь очень хорошее обогащение, но при этом потерять значительную долю полезных событий. Таким образом, встает вопрос оптимизации набора обрезаний выбранных 6 параметров события с целью получения максимального  $K_c$  при максимальном же значении  $R$ .

Рис. 3. Зависимость доли прошедших триггер событий с чармом ( $K_c$ ) от величины обогащения выборки ( $R$ ) для 19200 наборов обрезаемых. Знаком (x) обозначены оптимизированные значения  $K_c$  и  $R$  из табл.2.



На рис.3 представлена диаграмма зависимости доли оставшихся событий с чармом ( $K_c$ ) от величины обогащения ( $R$ ) для 19200 наборов обрезаемых по параметрам события. Из рисунка видно, что для каждого интервала по  $K_c$  имеется набор обрезаемых, при котором достигается максимальное обогащение. В табл.2 как раз представлены результаты оптимизации триггера для 10 интервалов по  $K_c$ . В первой колонке в виде 6-значного числа записаны значения параметров LX, LY, NX, NY, MX и MY, при которых происходит обрезание, т.е. запись 155161 означает, что данный триггер пропускает только события, у которых  $LX \geq 1$  (нет обрезания),  $LY \geq 5$ ,  $NX \geq 5$ ,  $NY \geq 1$  (нет обрезания),  $MX \geq 6$  и  $MY \geq 1$  (нет обрезания). Остальные события отбрасываются. При этом теряется 90% событий с чармом, но в то же время для оставшихся 10% событий уровень фона меньше в 24 раза! А для триггера 211112 имеем потерю событий с чармом на уровне всего 10% при обогащении выборки в 2 раза.

Таблица 2. Оптимизация триггера по параметрам события (вся выборка).

Обрезания LX,LY,NX,NY,MX,MY	Доля потерянных нужных соб. ( $1 - K_c$ )	Обогащение ( $R$ )
111122	0.0 - 0.1	1.8
211112	0.1 - 0.2	2.1
311112	0.2 - 0.3	2.2
111123	0.3 - 0.4	2.8
131123	0.4 - 0.5	3.1
141121	0.5 - 0.6	4.0
341311	0.6 - 0.7	4.7
114151	0.7 - 0.8	5.4
114163	0.8 - 0.9	13.4
155161	0.9 - 1.0	24.4

В нашей работе мы провели оптимизацию обрезаний по перечисленным выше параметрам для событий с выделенным каналом распада  $\Lambda_c^+$ . Для примера приводим табл.3, которая дает оптимальный триггер на основе только сцинтилляционного годоскопа для выделения событий, в которых  $\Lambda_c^+$  распадается по каналу  $\Lambda_c^+ \rightarrow p \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ . Мы видим, что при сохранении половины полезных событий можно достичь подавления фона в 17 раз. А при сохранении 10% событий с  $\Lambda_c^+$  уровень обогащения достигает 110!

Таблица 3. Оптимизация триггера по параметрам события (события с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow p \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ ).

Обрезания LX,LY,NX,NY,MX,MY	Доля потерянных нужных соб. ( $1 - K_c$ )	Обогащение ( $R$ )
413111	0.0 - 0.1	4.7
413142	0.1 - 0.2	5.2
411311	0.2 - 0.3	6.2
614111	0.3 - 0.4	13.0
734111	0.4 - 0.5	15.6
114353	0.5 - 0.6	17.1
744351	0.6 - 0.7	18.0
845111	0.7 - 0.8	62.8
115461	0.8 - 0.9	110.4
155161	0.9 - 1.0	71.5

В свете физических задач, которые планируется решать в эксперименте, очень важным является вопрос: как искажается спектр по переменной  $X_f$  чармованной частицы при триггировании? На рис.4 для примера на фоне распределения по  $X_f$  для всех  $\bar{D}^0$  приведены распределение по  $X_f$  для измеримых  $\bar{D}^0$  и то же распределение после действия триггера, настроенного на обогащение выборки в 3 раза с сохранением половины событий с чармом. Мы видим, что триггер незначительно искажает форму распределения по  $X_f$  для измеримых событий.

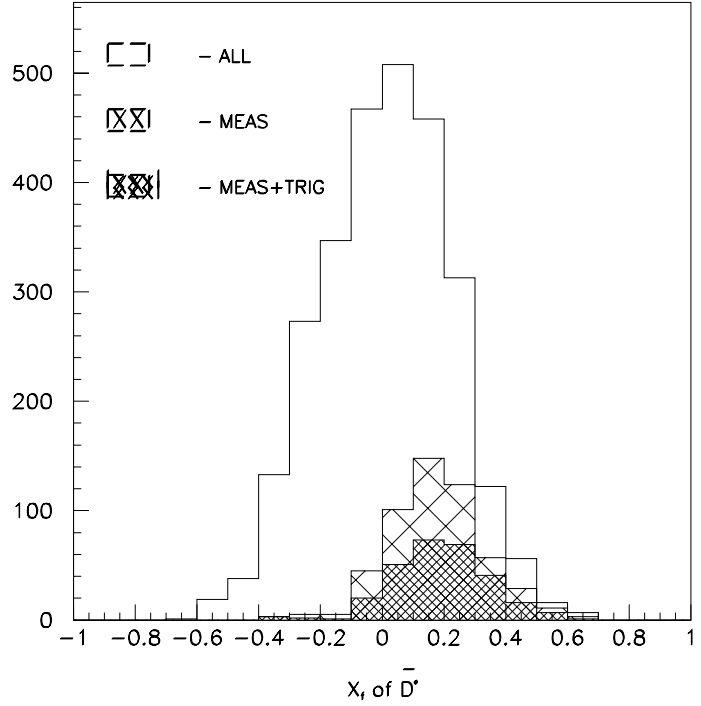
### 3. Сравнение с другими алгоритмами

В работе [2] для организации триггера по промаху трека в первичную вершину использовался метод конструирования некоторой величины, характеризующей достоверность принадлежности данного события к классу событий с чармом, используя эталонные распределения по промаху трека для событий с чармом и фоновых событий. Из этих распределений вычислялась вероятность, что трек имеет данный промах для двух случаев:

- 1) трек принадлежит событию с чармом ( $c_i$ );
- 2) трек принадлежит фоновому событию ( $b_i$ ).



Рис. 4. Распределение по  $X_f \bar{D}^0$ -мезона: без штриховки — для всех  $\bar{D}^0$ ; крупная штриховка — для измеримых  $\bar{D}^0$ ; мелкая штриховка — для измеримых  $\bar{D}^0$ , прошедших триггер ( $K_c = 0.5, R = 3.$ ).



Далее для события, содержащего  $N$  треков, вычислялась величина

$$L_c/L_b = \prod_{i=1}^n (c_i/b_i), \quad (1)$$

по которой потом осуществлялось обрезание (“мультипликативный фильтр”). Здесь через  $L_c$  и  $L_b$  обозначены функции правдоподобия гипотез чарма и фона для данного события. Сразу возникает вопрос: являются ли промахи треков внутри события независимыми величинами? Потому что формула  $L_c = \prod_{i=1}^n c_i$  справедлива только для независимых величин  $c_i$ . Но очевидно, что при наличии у какого-то трека большого промаха промах треков, принадлежащих той же вторичной вершине, с большой вероятностью будет иметь также большое значение. Перемножением вероятностей отдельных треков мы находим величину, пропорциональную вероятности для данного события иметь данный набор промахов соответственно для гипотез чарма и фона.

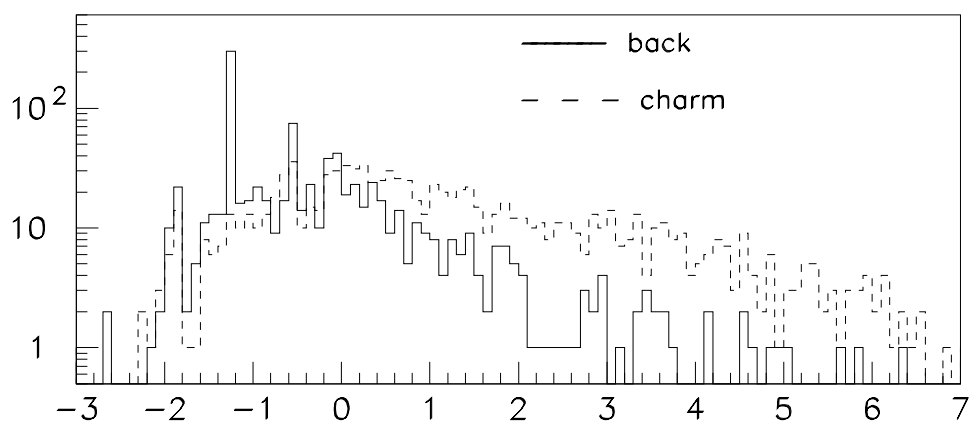
Более естественным кажется нахождение вероятности, что в данном событии один или более треков принадлежат чармованной частице и не принадлежат фону. Такую вероятность дает логическая сумма вероятностей отдельных треков. Но корректно построить такую величину для данного случая затруднительно, так как нам неизвестно число частиц, попавших в каждую полосу годоскопа (любое количество частиц, попавших в данную полосу, вызывает только один сигнал засветки). Поэтому мы вводим величину, отражающую рассматриваемую вероятность, которая равна  $p_i = c_i(1 - b_i)$ . Затем мы вводим функционал вида

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \quad (2)$$

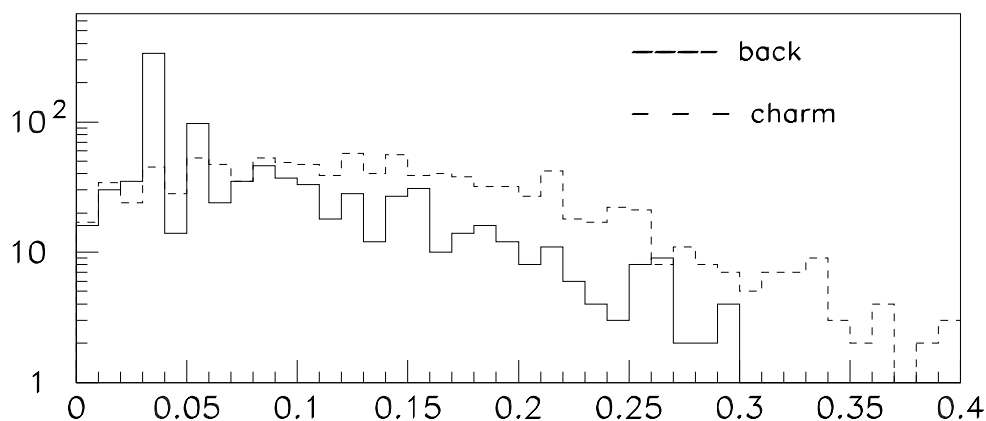
по которому будем делать обрезания для отбора чармованных событий.

При разработке триггера для ГД-11 мы применили оба эти метода и сравнили их с методом обрезаний по параметрам события. В качестве эталонных распределений использовались частоты попадания треков в ячейки годоскопа (ячейкой является пересечение X и Y полос) для событий с чармом и фоновых событий. Критерием сравнения являлась зависимость обогащения выборки ( $R$ ) от доли потерянных нужных событий ( $1 - K_c$ ).

На рис.5 показаны распределения событий по величинам  $L_c/L_b$  и  $P$ , а на рис.6 зависимости  $R$  от  $(1 - K_c)$  для всех трех методов. Мы видим, что все рассмотренные методы дают примерно одинаковые результаты, что метод триггирования по параметрам события не уступает по эффективности методам “мультипликативного фильтра”, а для некоторых значений  $(1 - K_c)$  (от 0 до 20%) более предпочтителен. К тому же его легче осуществить в аппаратуре. На рис.7 для примера показаны те же зависимости для случая, когда в качестве эталонной выборки чармованных событий взяты события с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow p \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ .



a)  $\ln(L_c/L_b)$



b)  $P = 1 - \Pi(1 - p_i)$

Рис. 5. Распределения по величинам  $\ln(L_c/L_b)$  (а) и  $P$  (б): сплошная линия — для фоновых событий; пунктирная линия — для событий с чармом.

Рис. 6. Зависимость доли потерянных в триггере событий с чармом  $(1 - K_c)$  от величины обогащения выборки  $(R)$  (вся выборка): сплошная линия — для обрезаний по параметрам события; точечная линия — для обрезаний по величине  $L_c/L_b$ ; пунктирная линия — для обрезаний по величине  $P$ .

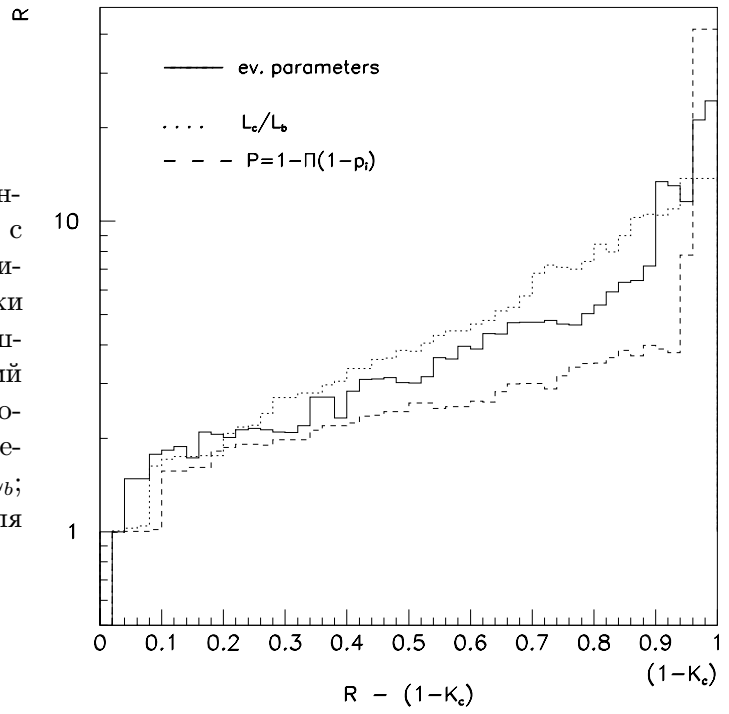
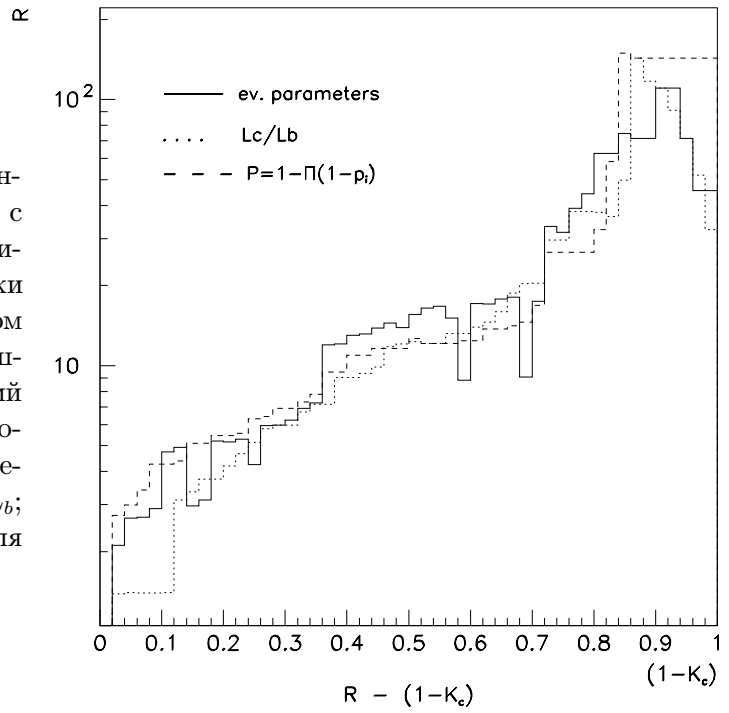


Рис. 7. Зависимость доли потерянных в триггере событий с чармом  $(1 - K_c)$  от величины обогащения выборки  $(R)$  (события с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow p \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ ): сплошная линия — для обрезаний по параметрам события; точечная линия — для обрезаний по величине  $L_c/L_b$ ; пунктирная линия — для обрезаний по величине  $P$ .



## Заклучение

Предлагаемая схема включения сцинтилляционного годоскопа установки СВД-2 в триггер 1-го уровня использует информацию с обеих плоскостей прибора и позволяет достигать высоких степеней обогащения выборки событиями с распадами очарованных частиц. Имеется также возможность настройки триггера на выделение событий с данной модой распада чарма.

## Список литературы

- [1] Предложение эксперимента по изучению механизмов образования очарованных частиц в рА-взаимодействиях при 70 ГэВ и их распадов. — Протвино: ИФВЭ, 1995.
- [2] Богданова Г.А. и др. Оптимизированный 2-уровневый триггер для выделения событий с очарованными частицами в адрон-адронных взаимодействиях. — Препринт ОИЯИ Р1-95-451. Дубна, 1995.
- [3] Боголюбский М.Ю. и др. Эффективность регистрации распадов очарованных частиц в рА-взаимодействиях при 70 на установке СВД-2 и выделение сигнала от распада  $\Lambda_c^+(2285)$  по спектру эффективных масс: Препринт ИФВЭ 96-93. Протвино, 1996.

*Рукопись поступила 14 ноября 1996 г.*

М.Ю.Боголюбский и др.

Использование сцинтилляционного годоскопа в триггере 1-го уровня установки СВД-2 для поиска очарованных частиц в адрон-адронных взаимодействиях.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 21.11.96. Формат  $60 \times 84/8$ .      Офсетная печать.  
Печ.л. 1,25.    Уч.-изд.л. 0,96.    Тираж 240.    Заказ 879.    Индекс 3649.  
ЛР №020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

