



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 97-74  
ОНФ

М.Ю.Боголюбский, А.П.Воробьев, А.М.Моисеев, В.Н.Рядовиков

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ  
ПАР ОЧАРОВАННЫХ ЧАСТИЦ  
В  $pp$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 70 ГэВ НА УСТАНОВКЕ СВД**

Протвино 1997

### Аннотация

Боголюбский М.Ю. и др. Эффективность регистрации пар очарованных частиц в  $pp$ -взаимодействиях при 70 ГэВ на установке СВД: Препринт ИФВЭ 97-74. – Протвино, 1997. – 6 с., 2 рис., 2 табл., библиогр.: 6.

На основе моделирования с помощью программ PYTHIA и GEANT вычисляются эффективности регистрации пар очарованных частиц, в зависимости от моды их распада и переменной  $x_F$ . Даются оценки количества событий, в которых регистрируются обе очарованные частицы, за 30-суточный сеанс работы установки СВД в пучке протонов 70 ГэВ с интенсивностью  $3 \cdot 10^6$  р/сек.

### Abstract

Bogolyubsky M.Y. et al. Efficiency of Registration for a Pair of Charmed Particles in  $pp$ -Integrations at 70 GeV with SVD SETUP: IHEP Preprint 97-74. – Protvino, 1997. – p. 6, figs. 2, tables 2, refs.: 6.

The detection efficiencies for pairs of charmed particles for some decay modes as function of  $x_F$  have been evaluated by means of PYTHIA and GEANT packages. The number of events with both charmed particles detection are given for 30 days run of the SVD setup in the 70 GeV proton beam with the intensity of  $3 \cdot 10^6$  protons/s.

## Введение

При исследовании адробразования очарованных адронов наиболее полная информация о динамике рождения  $\bar{c}s$ -пар и их адронизации может быть получена при регистрации обоих очарованных адронов. В частности, относительное положение пар очарованных частиц по углу  $\varphi$  в плоскости поперечного импульса несет информацию о вкладе NLO-членов при расчетах по пертурбативной QCD [1] и о "внутреннем"  $p_T$  партонном в сталкивающихся адронах [2]. Как показано в работе [3], азимутальные корреляции в парах очарованных адронов и распределения по их инвариантным массам могут быть использованы для поисков эффектов от "внутреннего" очарования [4]. Однако регистрация распадов обеих очарованных частиц является сложной методической задачей и требует использования спектрометров с достаточно большой апертурой. В рамках подготовки к проведению эксперимента по изучению механизмов образования очарованных адронов в  $pp$ -взаимодействиях при 70 ГэВ/с [3] ранее уже было проведено моделирование эффективности регистрации различных мод распада  $D^{+-}$ ,  $\bar{D}^0$ -мезонов и  $\Lambda_c^+$ -гиперонов, образовавшихся в реакциях

$$pp \rightarrow \bar{D}\Lambda_c^+ + X, \quad (1)$$

$$pp \rightarrow \bar{D}D + X. \quad (2)$$

Результаты моделирования, приведенные в [5], показали, что в модернизированной установке СВД восстанавливается основная часть распадов очарованных адронов на заряженные частицы, имеющих  $x_F \geq 0,0$ . Это позволяет ожидать достаточно высокую эффективность регистрации в этой установке распадов обоих очарованных адронов, образовавшихся в реакциях (1) и (2).

Настоящая работа посвящена детальному изучению эффективностей регистрации различных мод распада очарованных адронов в установке СВД на моделированных событиях.

### 1. Процедура моделирования

Как и в работе [5], события с образованием пары очарованных адронов в реакциях (1) и (2) были смоделированы по программе PYTHIA. Для каждой пары

очарованных частиц с определенными модами распада разыгрывалось 1000 событий. Конфигурация модернизированной установки СВД была задана в программе GEANT, и эффективность регистрации заряженных треков и  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов определялась по критериям, описанным в работе [5]. В частности, требовалось, чтобы импульс заряженной частицы определялся с точностью не хуже 25%.

При определении геометрической эффективности  $\varepsilon_{kl}$  регистрации в данном взаимодействии распадов “ $k$ ” и “ $l$ ” двух очарованных адронов предполагалось, что  $\varepsilon_{kl} = \varepsilon_k \cdot \varepsilon_l$ . Как показано в работе [5], эффективности регистрации  $\varepsilon_{kl}$  сильно зависят от  $x_{Fkl}$  очарованной частицы. Поэтому для определения вероятности регистрации двух очарованных адронов  $k, l$  с распадными модами  $i, j$  строилось их двумерное распределение по  $x_{Fk}$  vs  $x_{Fl}$ , и каждой точке этого распределения присваивался вес  $\varepsilon^i(x_{Fk}) \cdot \varepsilon^j(x_{Fl})$ .

На рис. 1 и 2 показаны двумерные распределения доли от полного числа событий ( $N_{det}/N_{tot}$ ), в которых регистрируются обе очарованные частицы, по переменным  $x_{Fk}$  и  $x_{Fl}$  для некоторых комбинаций их мод распада. Видно, что пары  $\Lambda_c^+ \bar{D}^0$  достаточно эффективно выделяются в случае быстрых  $\Lambda_c^+$  (рис. 1), тогда как максимум эффективности совместного выделения распадов  $D\bar{D}$ -пары лежит в области  $x_{FD} = x_{F\bar{D}} \approx 0,3$  (рис. 2). Для каждого распределения указана средняя величина  $\langle \varepsilon_{kl} \rangle$ , которая вычислялась как сумма событий с регистрацией пары очарованных адронов, деленная на полное число (в нашем случае 1000) событий с данными модами распада очарованных частиц.

## 2. Результаты

Согласно результатам моделирования по программе RYTHIA различные конечные состояния пар ( $\bar{c}c$ ) очарованных частиц будут образовываться в реакциях (1) и (2) со следующими вероятностями  $P_{kl}$ :

$$\begin{aligned} \Lambda_c^+ \bar{D}^0 &- 0,41, & D^0 \bar{D}^0 &- 0,21, & \Lambda_c^+ D^- &- 0,13, \\ D^+ \bar{D}^0 &- 0,10, & D^0 D^- &- 0,07, & D^+ D^- &- 0,03. \end{aligned}$$

В табл. 1 приведены средние геометрические эффективности регистрации наиболее вероятных конечных состояний с наиболее вероятными модами распада.

Таблица 1.

	$\bar{D}^0 \rightarrow$ $K^+ \pi^-$	$\bar{D}^0 \rightarrow$ $K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$	$\bar{D}^0 \rightarrow$ $K^+ \pi^- \pi^0$	$D^- \rightarrow$ $K^+ \pi^- \pi^-$	$D^- \rightarrow$ $K^+ \pi^- \pi^- \pi^0$
$\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$	0,15	0,14	0,04	0,13	0,02
$\rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$	0,08	0,08	0,02	0,08	0,01
$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$	0,12	0,12	0,03		
$\rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$	0,12	0,11	0,03		
$\rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$	0,03	0,03	0,01		
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^-$	0,11	0,11	0,03	0,11	

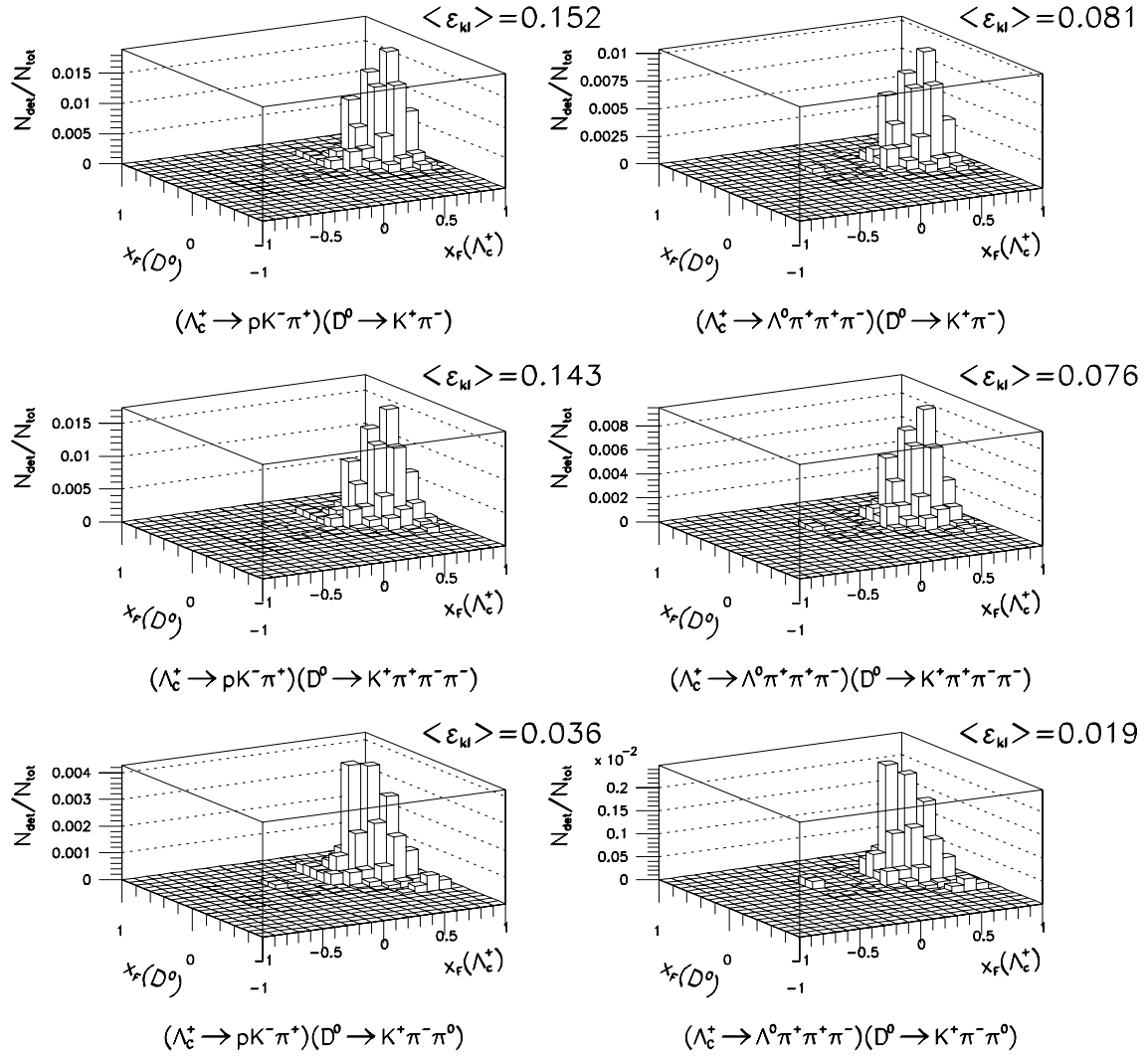


Рис. 1. Эффективность регистрации пары  $(\Lambda_c^+\bar{D}^0)$  в зависимости от переменных  $x_{F\Lambda_c^+}$  и  $x_{F\bar{D}^0}$ .

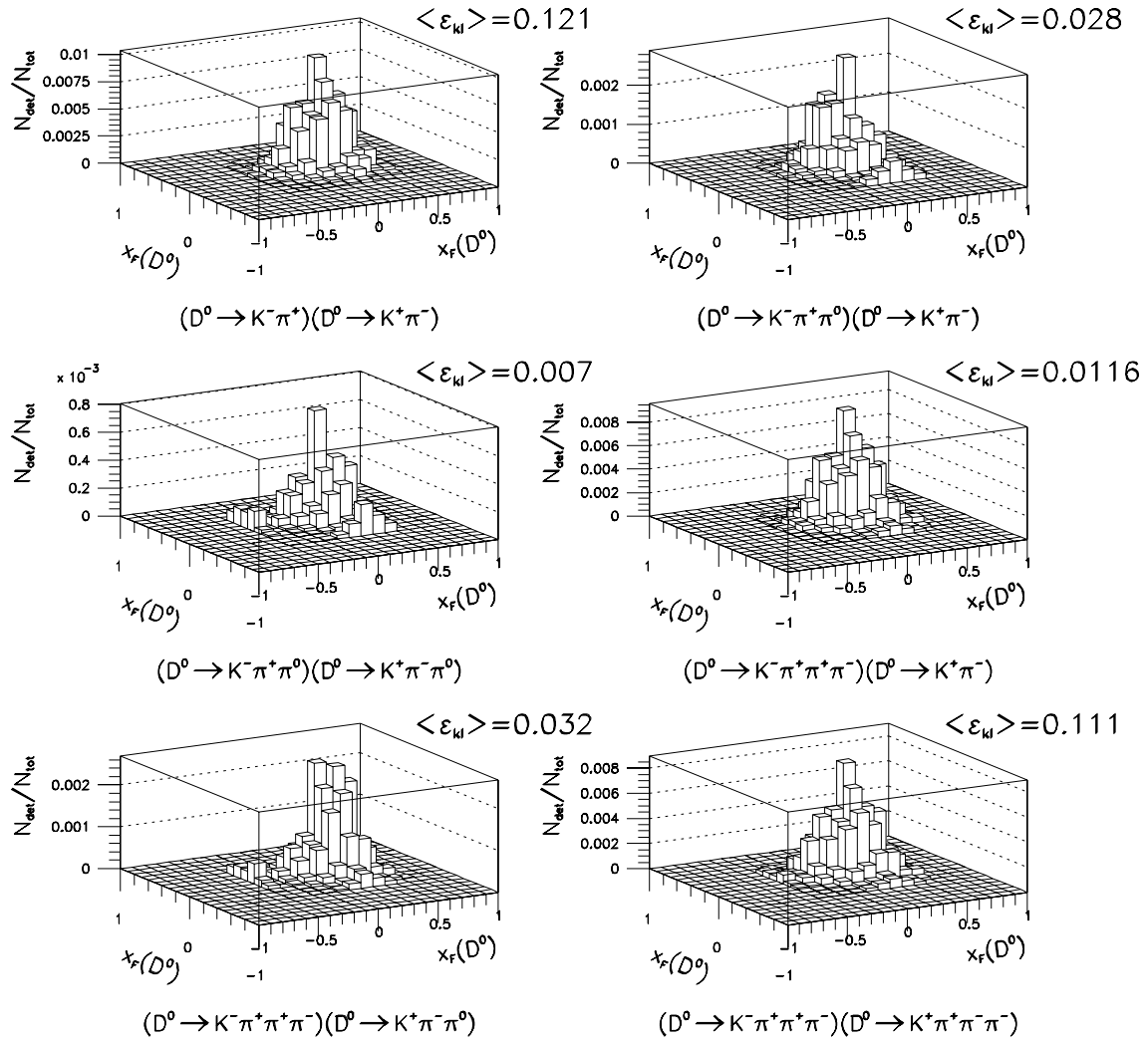


Рис. 2. Эффективность регистрации пары  $(D^0 \bar{D}^0)$  в зависимости от переменных  $x_{FD^0}$  и  $x_{F\bar{D}^0}$ .

Однако приведенные выше эффективности регистрации пар  $(c\bar{c})$  еще не позволяют оценить количества пар, которые будут получены в результате статистики, набранной в течение экспозиции установки СВД в пучке протонов 70 ГэВ с интенсивностью  $3 \cdot 10^6$  р/с за определенное число смен. Для получения таких оценок нужно учесть:

1) разную эффективность триггерной системы для различных конечных состояний  $\bar{c}c$ -пар,  $\epsilon(\text{тр})_{kl}^{ij}$ ;

2) разные эффективности восстановления распадной вершины для  $D^\pm$ ,  $D^0$ -мезонов и  $\Lambda_c^+$ -гиперонов, обусловленных различными временами их жизни  $\epsilon(\text{рек})_{kl}^{(-)}$ .

За исходную точку расчетов можно взять число событий с парой  $\bar{c}c$ , рождающихся в активной мишени прецизионного вершинного детектора СВД (толщиной

$0,0026\lambda(Si)+0,0026\lambda(W)$ ) за 30 суток безостановочной экспозиции в пучке  $3 \cdot 10^6$  р/с, которое составляет  $N(\bar{c}c) = 7,2 \cdot 10^5$ . Эффективность триггерной системы для различных топологий распада  $D^+$ ,  $D^0$  и  $\Lambda_c^+$  была рассчитана в [6]. Согласно этим данным  $\varepsilon(\text{тр})_{kl}^{ij}$  изменяется в диапазоне (0,25 – 0,60), причем наиболее эффективно триггируются события с многочастичными распадами  $D^\pm$ .

Как показано в работе [3], прецизионный вершинный детектор, который будет использован в модернизированной установке СВД, должен позволить различать вторичные вершины, отстоящие от первичной вершины более чем на 500 мкм. В этом случае будет обнаружено 75% всех распадов  $D^+(D^-)$ -мезонов, около 50% распадов  $D^0(\bar{D}^0)$ -мезонов и 35% распадов  $\Lambda_c^+$ -гиперонов, т.е.  $\varepsilon(\text{рек})_{\Lambda_c^+ \bar{D}^0} = 0,175$ ,  $\varepsilon(\text{рек})_{\Lambda_c^+ D^-} = 0,262$  и  $\varepsilon(\text{рек})_{D^+ \bar{D}^0} = 0,375$ . Приняв, что надежно могут быть зарегистрированы  $\bar{c}c$ -пары, распадные вершины которых лежат на расстояниях  $> 500$  мкм от первичной, можно получить нижнюю оценку числа различных конечных состояний с распадами очарованных адронов. В табл. 2 приведены числа восстановленных пар очарованных частиц, рассчитанные как

$$N_{kl}^{ij} = N(\bar{c}c)P_{kl} \cdot \langle \varepsilon_{kl}^{ij} \rangle \cdot \varepsilon(\text{тр})_{kl}^{ij} \cdot \varepsilon(\text{рек})_{kl} \cdot Br_k^i \cdot Br_l^j,$$

для некоторых основных каналов распада  $\Lambda_c^+$ ,  $D^+$ ,  $D^0$ , и  $\bar{D}^0$ .

Таблица 2.

Конечное состояние ( $\bar{c}c$ )	$N_{kl}^{ij}$	Конечное состояние ( $\bar{c}c$ )	$N_{kl}^{ij}$
$(\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+)(\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-)$	3,4	$(D^0 \rightarrow K^-\pi^+)(\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-)$	3,8
(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0$ )	3,0	(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0$ )	3,3
(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^-$ )	7,1	(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^-$ )	7,2
(--" --)( $D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-$ )	12,3		
		$(D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^-)(\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-)$	7,2
(--" --)( $D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-\pi^0$ )	1,3	(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0$ )	6,2
		(--" --)( $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^-$ )	12
$(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0\pi^+\pi^+\pi^-)$ и (5 указанных выше мод распада $\bar{D}^0$ , $D^-$ )	$\sim 9$		
		$(D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^0)(\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0)$	3,6
		$(D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+)(\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-)$	6,0
		(--" --)( $D^- \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$ )	6,7

Найдено, что с учетом остальных мод распада  $D^\pm$ -,  $D^0$ - и  $\bar{D}^0$ -мезонов, имеющих достаточно высокую эффективность регистрации в СВД, число восстановленных пар ( $D\bar{D}$ ) должно превысить сто.

При реальной обработке, в случае обнаружения одной распадной вершины, вероятность восстановить  $i$  распад другого очарованного адрона  $l$  по величине инвариантной массы продуктов распада будет не  $\varepsilon(\text{рек})_l \cdot \varepsilon_l^i \cdot Br_l^i$ , а ближе к полной вероятности  $\varepsilon_l^i Br_l^i$ . Это означает, что при использовании алгоритмов обработки данных, позволяющих полностью использовать возможности установки, число восстановленных пар  $(\Lambda_c^+ \bar{D})$  будет превышать оценки, приведенные в табл.2, примерно в два раза, а число восстановленных пар  $(D \bar{D})$  — примерно в полтора раза.

Более детально изучение этих вопросов будет проведено в наших следующих работах.

## Выводы

- Геометрическая эффективность восстановления в установке СВД пар очарованных частиц, распадающихся по заряженным модам, составляет 10–15%, причем с наибольшей вероятностью восстанавливаются пары в области  $x_{Fl,k} > 0,2$ .
- На  $7,2 \cdot 10^5$  событий с  $(\bar{c}s)$ -парой, образовавшихся в активной мишени вершинного детектора СВД при эффективности триггерной системы, приведенной в работе [6], может быть полностью восстановлено примерно 70 пар  $(\Lambda_c^+ \bar{D})$  и 150 пар  $(D \bar{D})$ .

## Список литературы

- [1] Frixione et al. — Preprint CERN-TH.7292/94 (1994).
- [2] Adamovich M. et al. — Preprint CERN/PPE-92-214 (1994).
- [3] Ardashev E. et al. — Preprint ИИЭП 96-94, Протвино 1996.
- [4] Brodsky S.L. et al. — Phys. Lett., 1980, v. 93B, p. 261.
- [5] Боголюбский М.Ю. и др. — Препринт ИФВЭ 96-93, Протвино, 1996.
- [6] Богданова Г.А. и др. Сообщение ОИЯИ Р1-95-451 (1995).

*Рукопись поступила 12 ноября 1997 г.*



М.Ю.Боголюбский и др.

Эффективность регистрации пар очарованных частиц в  $pp$ -взаимодействиях при 70 ГэВ на установке СВД.

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

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 14.11.97. Формат  $60 \times 84/8$ .      Офсетная печать.

Печ.л. 0.75.    Уч.-изд.л. 0.57.    Тираж 150.    Заказ 1174.    Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

---

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

