

РЕГИСТРАЦИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ОЧАРОВАННЫХ D^\pm -МЕЗОНОВ В pA -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 70 ГэВ НА УСТАНОВКЕ СВД-2

© 2014 г. В. Н. Рядовиков*
(от имени Сотрудничества СВД-2¹⁾)

Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Поступила в редакцию 06.11.2013 г.

Приведены результаты обработки данных эксперимента SERP-E-184 “Изучение механизмов образования очарованных частиц в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ и их распадов”, полученные при облучении активной мишени установки СВД-2, состоящей из пластинок углерода, кремния и свинца, пучком протонов при 70 ГэВ. В результате детального моделирования с помощью программ FRITIOF7.02 и GEANT3.21 были оптимизированы критерии отбора событий и вычислены эффективности регистрации D^\pm -мезонов. После выделения сигнала от трехчастичного распада заряженных очарованных D^\pm -мезонов измерены инклюзивные сечения их образования при околороговой энергии, времена жизни и параметры A -зависимости сечений. Приведена таблица выходов и их отношений для D -мезонов в сравнении с данными других экспериментов и теоретическими предсказаниями.

DOI: 10.7868/S0044002714060130

ВВЕДЕНИЕ

В работах по исследованию характеристик рождения нейтральных очарованных мезонов в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ на установке СВД-2 (эксперимент SERP-E-184 [1]) дана оценка сечения образования очарованных частиц $\sigma(c\bar{c})$ при околороговой энергии [2–4]. Было показано, что сложившаяся экспериментальная ситуация в этой области энергий противоречива, а теоретические оценки сечений весьма чувствительны к параметрам моделей КХД. Поэтому дальнейшие измерения выходов различных очарованных частиц в настоящее время актуальны. В настоящей работе приведены результаты обработки данных по выделению событий с распадами $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ и $D^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^-$ в pA -взаимодействиях при

70 ГэВ. Дана оценка сечения образования заряженных очарованных мезонов и их выходов, исследованы некоторые свойства D^\pm -мезонов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ОТБОРА СОБЫТИЙ

В анализе использовано 52 млн неупругих событий, зарегистрированных на трех ядерных мишенях из углерода, кремния и свинца. Подробное описание установки СВД-2 в эксперименте по исследованию рождения очарованных частиц в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ можно найти в работе [5]. Из-за небольшого сечения образования очарованных частиц при околороговой энергии, малой длины их пробега и уменьшения эффективности реконструкции всех треков в многочастичной вершине распада жесткие критерии при первичном отборе событий с возможным рождением очарованных частиц не использовались. Выделение нужного класса событий состояло из следующих процедур:

реконструкции треков и первичной вершины на проекциях по данным вершинного детектора (ВД); поиска вторичных двухлучевых вершин в пространстве параметров треков $\{a, b\}$ [2]; данная процедура является “быстрым фильтром” для отбора событий с возможным образованием очарованных частиц;

пространственной реконструкции треков заряженных частиц в магнитном спектрометре (МС) и определения их импульсов;

*E-mail: riadovikov@ihep.ru

¹⁾ А. Н. Алеев, Е. Н. Ардашев, А. Г. Афонин, В. П. Баландин, С. Г. Басиладзе, С. Ф. Бережнев, Г. А. Богданова, М. Ю. Боголюбовский, А. М. Вишневецкая, В. Ю. Волков, А. П. Воробьев, А. Г. Воронин, В. Ф. Головкин, С. Н. Головня, С. А. Горохов, Н. И. Гришин, Я. В. Гришкевич, Г. Г. Ермаков, П. Ф. Ермолов, В. Н. Запольский, Е. Г. Зверев, Д. Е. Карманов, В. И. Киреев, А. А. Кирыков, В. Н. Крамаренко, А. В. Кубаровский, Н. А. Кузьмин, Л. Л. Курчанинов, Г. И. Ланщиков, А. К. Лефлат, С. И. Лютов, М. М. Меркин, Г. Я. Митрофанов, В. С. Петров, Ю. П. Петухов, А. В. Плескач, В. В. Попов, В. М. Роньжин, В. А. Сенько, М. М. Солдатов, Л. А. Тихонова, Н. Ф. Фурманец, А. Г. Холоденко, Ю. П. Цюпа, Н. А. Шаланда, А. И. Юкаев, В. И. Якимчук.

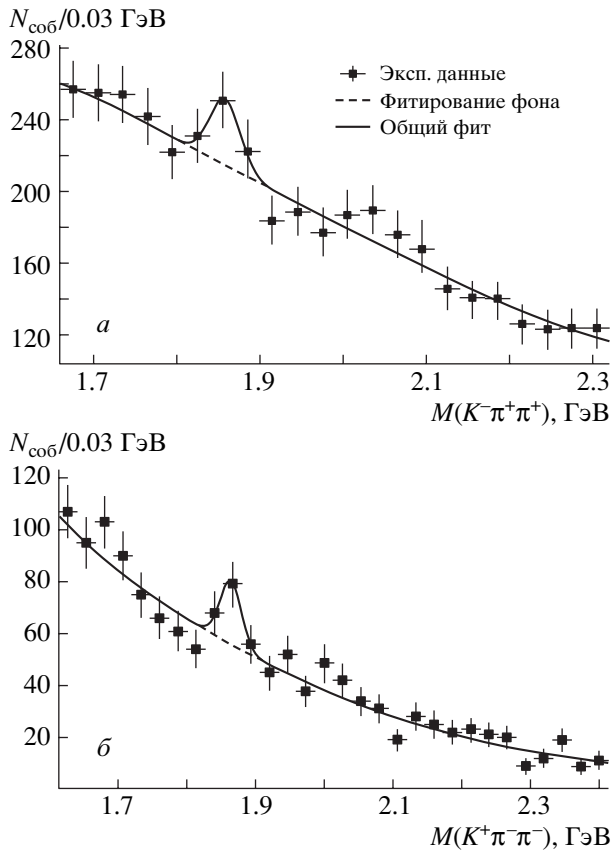


Рис. 1. Спектры эффективных масс систем $(K^- \pi^+ \pi^+)$ (а) и $(K^+ \pi^- \pi^-)$ (б) после первичного отбора событий с трехлучевыми вторичными вершинами.

поиска вторичных трехлучевых вершин с помощью дальнейшего анализа треков в пространстве $\{a, b\}$ с учетом их заряда и кинематического соответствия первичной вершине взаимодействия;

определения импульса распадной частицы с применением критерия $P > 7$ ГэВ (см. текст ниже).

После выполнения вышеперечисленных процедур для анализа остается 16320 событий с гипотезой распада $(D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+)$ и 8439 событий с гипотезой распада $D^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^-$. На рис. 1 представлены спектры эффективных масс систем $(K^- \pi^+ \pi^+)$ и $(K^+ \pi^- \pi^-)$ для этих событий, фитированные суммой функции Гаусса и полинома 6-й степени. Сигналы в области D -мезонов видны, но имеют значительную фоновую подложку.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ОТБОРА СОБЫТИЙ С РОЖДЕНИЕМ ОЧАРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

Для моделирования событий и оптимизации критериев отбора событий с рождением очарованных частиц в данном эксперименте использовалась программа GEANT3.21 [6] с геометрическим описанием всех элементов установки

СВД-2. В качестве генератора pA -взаимодействий использовалась программа FRITIOF7.02 [7]. Для моделирования фоновых условий по программе GEANT было разыграно 10 млн событий, полученных методом Монте-Карло (МК), с запретом на формирование очарованных частиц, которые были пропущены через систему обработки данных. При этом в некоторых событиях из-за моделирования шумовых условий эксперимента и несовершенства алгоритма реконструкции событий с трехчастичными распадами были найдены трехлучевые вершины распада, которые являются ложными (фон). Распределения по параметрам трехчастичной системы $(K^- \pi^+ \pi^+)$ в этих событиях сравнивались с экспериментальным фоном. В экспериментальный фон отбирались события, в которых эффективная масса системы $(K^- \pi^+ \pi^+)$ находилась в интервале, полученном из распределения на рис. 1, т.е. $M = 1.858 \pm (3 \cdot 0.018)$ ГэВ. Те же требования применялись для МК-событий. На рис. 2 представлены распределения по приведенной длине пробега ($L_{пр} = L \times M/P$), импульсу (P) и переменной Фейнмана ($x_F = 2P_{||}^*/\sqrt{s}$ в с.с.м.) системы $(K^- \pi^+ \pi^+)$. Все распределения нормировались по площади на единицу. Видно, что имеется хорошее согласие между МК-событиями и экспериментальными данными. Таким образом, моделированные события хорошо воспроизводят фоновые условия эксперимента.

Для оптимизации системы критериев отбора событий с рождением очарованных частиц с помощью программы GEANT были получены две выборки, содержащих по 500 тыс. МК-событий в каждой, с распадами $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ и $D^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^-$ соответственно. Моделирование показывает, что из-за акцептанса установки реконструкция всех треков в распадной вершине возможна только при условии, что импульс распадной частицы больше 7 ГэВ. На первом этапе был выполнен анализ диаграммы Далитца для распада $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, при этом определялись границы фазового объема, характерные для рассматриваемого трехчастичного распада. Анализировалась двумерная гистограмма массовых гипотез систем: $m_1(K^- \pi_1^+)$ и $m_2(K^- \pi_2^+)$. Из кинематики трехчастичного распада для диаграммы Далитца имеются следующие граничные условия:

$$m_{1 \max} = m_{2 \max} = m_D - m_\pi \approx 1.73 \text{ ГэВ}, \quad (1)$$

$$m_{1 \min} = m_{2 \min} = m_K + m_\pi \approx 0.63 \text{ ГэВ}.$$

На рис. 3 представлена аппроксимация фазового объема эллипсом для МК-событий:

$$X = (m_1 - \Delta m_1) \cos \theta + (m_2 - \Delta m_2) \sin \theta, \quad (2)$$

$$Y = (m_2 - \Delta m_2) \cos \theta - (m_1 - \Delta m_1) \sin \theta,$$

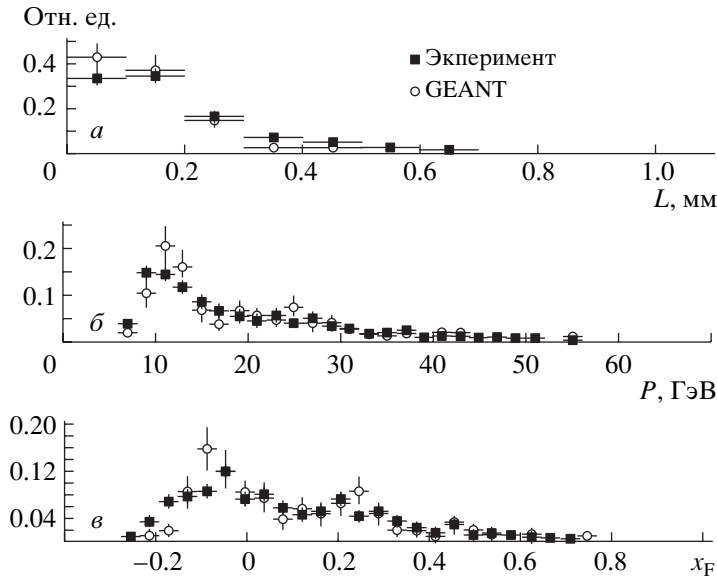


Рис. 2. Распределения по параметрам системы ($K^- \pi^+ \pi^+$) для фоновых событий: *a* — по приведенной длине пробега (см. текст), *b* — импульсу, *c* — переменной Фейнмана.

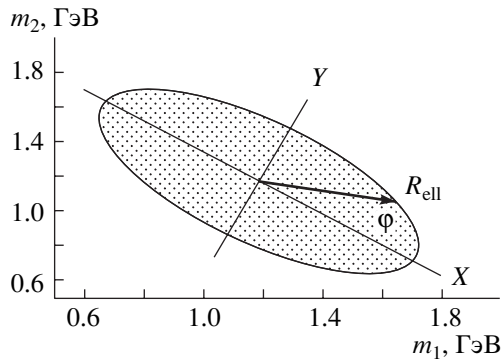


Рис. 3. Диаграмма Далитца для системы ($K^- \pi^+ \pi^+$) в МК-событиях.

$$X^2/R_X^2 + Y^2/R_Y^2 = 1,$$

где $\Delta m_1 = 1.18$ ГэВ, $\Delta m_2 = 1.17$ ГэВ, $\theta = 44.78^\circ$ — параметры перехода в координатную систему эллипса (X, Y); R_X, R_Y — полуоси эллипса.

На рис. 4*a* приведена диаграмма Далитца системы ($K^- \pi^+ \pi^+$) для экспериментальных событий с наложением данного эллипса и учетом граничных условий (1), а на рис. 4*б* представлены распределения плотности экспериментальных и МК-событий в координатной системе эллипса (см. рис. 3). Из распределения по углу φ видно, что основной фон под сигналом от D^+ (рис. 1*a*) группируется в области углов $270^\circ \pm 70^\circ$. Для уменьшения фоновой подложки отбиралось события из областей: $\varphi < 200^\circ$, $\varphi > 340^\circ$ и $R_{\text{ell}} < 1$. В области φ от 30° до 170° плотности МК-событий с распадом

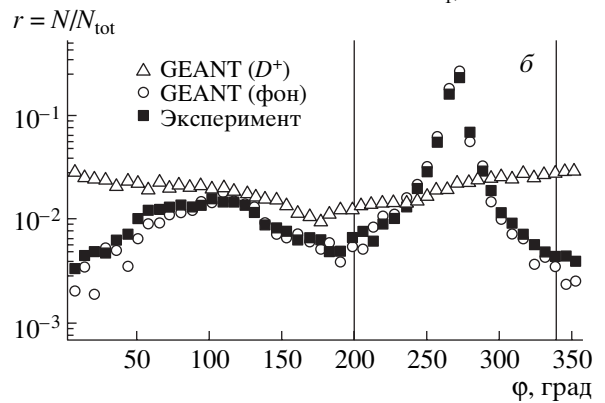
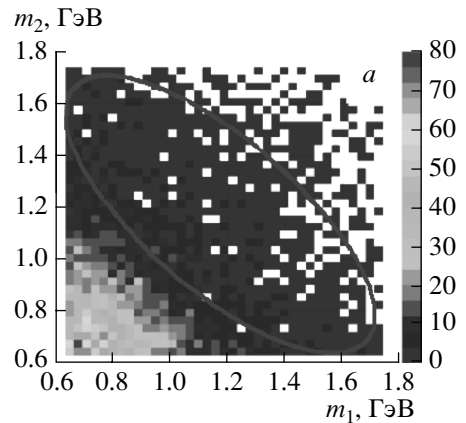


Рис. 4. *a* — Расчетный кинематический эллипс на экспериментальной диаграмме Далитца системы ($K^- \pi^+ \pi^+$); *б* — плотность экспериментальных и МК-событий в зависимости от угла φ .

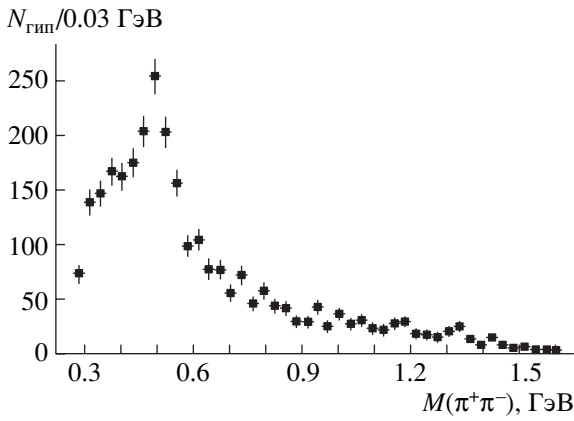


Рис. 5. Спектр эффективных масс системы $(\pi^+\pi^-)$ для двух гипотез K^0 из экспериментальной выборки трехчастичных вершин после применения критериев отбора.

D^+ и фоновых событий сравнимы, поэтому данная область не исключалась из дальнейшего анализа.

Значительная часть фона формируется вследствие наложения трека заряженной частицы из вершины взаимодействия на вершину распада K^0 -мезона. Если в системе $(K^-\pi^+\pi^+)$ гипотезу K^- для отрицательного трека заменить на гипотезу π^- , то имеется две гипотезы распада K^0 -мезона. Спектр эффективных масс системы $(\pi^+\pi^-)$ для двух гипотез K^0 из экспериментальной выборки трехчастичных вершин с учетом приведенных выше критериев отбора представлен на рис. 5. Для исключения этого фона рассмотрим двумерную гистограмму на рис. 6а. Как видно из рисунка, вклад фона от K^0 группируется в нижней области диаграммы, ограниченной линией:

$$M(\pi^+\pi^-)_{H1} + M(\pi^+\pi^-)_{H2} < C. \quad (3)$$

Отношение числа событий под прямой (3) к полному числу событий ($W = N_{\text{cut}}/N_{\text{tot}}$) зависит от значения параметра C . Значение $C = 1.2$ получено из анализа зависимостей $W(C)$ для экспериментальных и МК-событий, показанных на рис. 6б. На рис. 7 приведен спектр эффективных масс системы $(\pi^+\pi^-)$ для двух гипотез K^0 из экспериментальной выборки для D^+ после исключения области, показанной на рис. 6.

На рис. 8 показаны распределения по приведенной длине пробега $L_{\text{пр}}$ системы $(K^-\pi^+\pi^+)$ для МК-событий с распадом D^+ и с фоновой трехлучевой вторичной вершиной. Из анализа распределений на рис. 8 вводилось условие: $L_{\text{пр}} > 0.12$ мм.

Такой же анализ критериев отбора был проведен для событий с возможным распадом $D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-$.

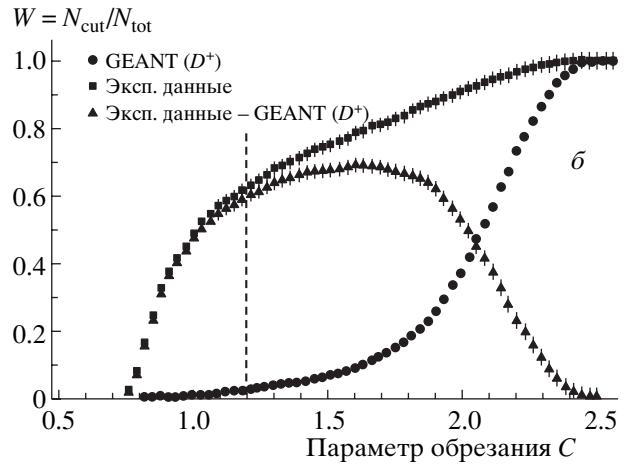
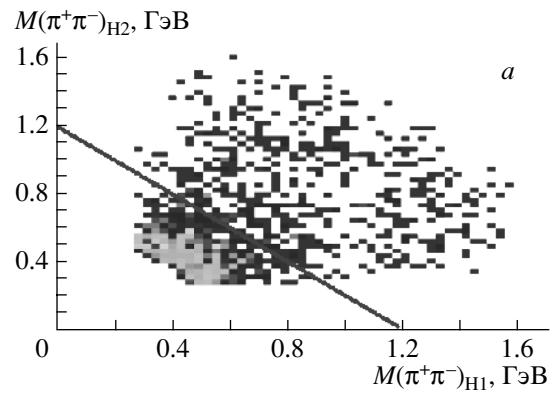


Рис. 6. а — Двумерная гистограмма для системы $(\pi^+\pi^-)$. Линия — граница области для исключения фона от K^0 -мезона; б — зависимость величины W (см. текст) от параметра обрезаний C .

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ОТБОРА

В результате моделирования были выбраны критерии отбора событий с минимальным фоном. Для распада $D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$ эти критерии следующие:

$$\varphi(K^-\pi^+) < 200^\circ, \quad \varphi(K^-\pi^+) > 340^\circ$$

$$\text{и } R_{\text{ell}} < 1 \text{ (рис. 4);}$$

$$M(\pi^+\pi^-)_{H1} + M(\pi^+\pi^-)_{H2} > 1.2 \text{ ГэВ (рис. 6);}$$

$$L_{\text{пр}}(K^-\pi^+\pi^+) > 0.12 \text{ мм (рис. 8).}$$

На рис. 9 показан спектр эффективных масс системы $(K^-\pi^+\pi^+)$ для экспериментальных событий после использования всех критериев отбора. После параметризации спектра на рис. 9 суммой функции Гаусса и полинома 5-й степени ($\chi^2/\text{NDF} = 13.5/30$) получаем 15.5 событий в сигнале от распада D^+ -мезона и 16.6 событий в фоновой подложке. Измеренная масса D^+ -мезона равна 1874 ± 5 МэВ (табличное значение —

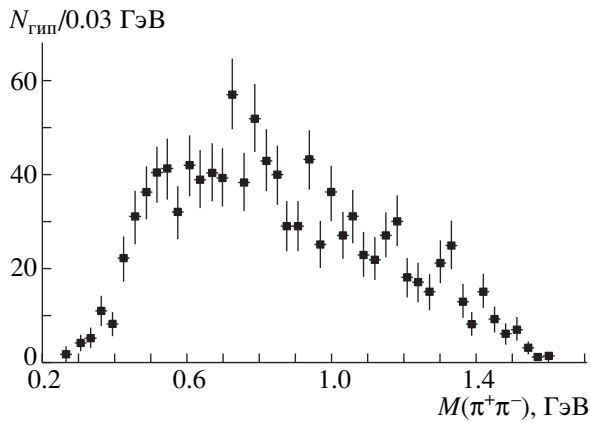


Рис. 7. Спектр эффективных масс системы $(\pi^+\pi^-)$ двух гипотез K^0 из экспериментальной выборки для D^+ после исключения области, показанной на рис. 6.

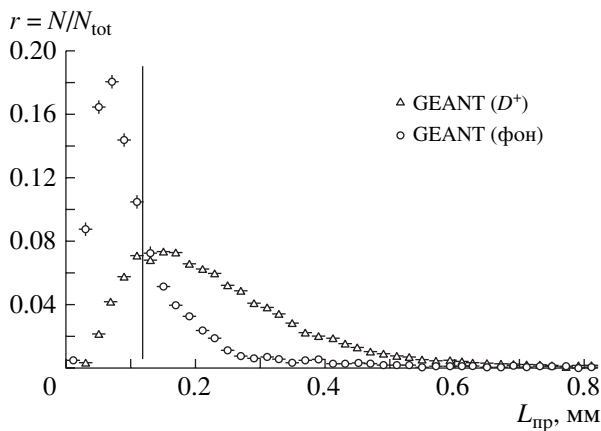


Рис. 8. Распределения по приведенной длине пробега системы $(K^-\pi^+\pi^+)$ для МК-событий. Линия — граница отбора событий.

1869.6 МэВ), среднеквадратичное отклонение — 11.5 МэВ. В области масс D^+ -мезона не наблюдается примесь фона от K^0 -мезона. Эффективность выделения сигнала от распада D^+ -мезона, полученная из моделирования и определяемая как отношение числа событий в сигнале после всех обрезаний к полному числу МК-событий с распадом $D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$, равна $\varepsilon(D^+) = 0.014$. При этом выполнялось условие полного соответствия процедур обработки экспериментальных и моделированных событий.

Аналогичные процедуры были выполнены для выделения сигнала от D^- -мезона (рис. 10) в спектре масс системы $(K^+\pi^-\pi^-)$ с теми же критериями отбора событий. Спектр эффективных масс системы $(K^+\pi^-\pi^-)$ на рис. 10 также был параметризован суммой функции Гаусса и полинома 2-й степени ($\chi^2/\text{NDF} = 3.6/20$). Число событий в сигнале —

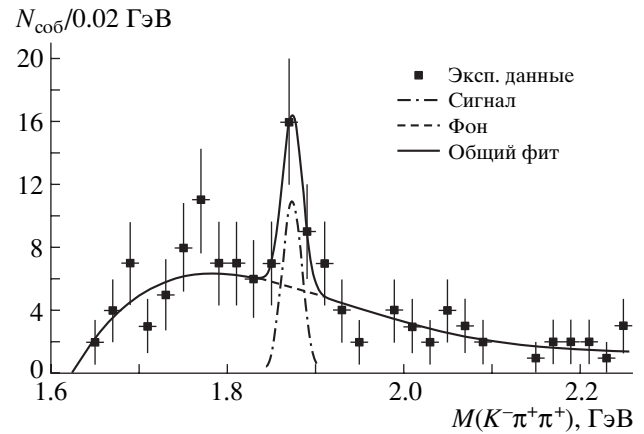


Рис. 9. Спектр эффективных масс системы $(K^-\pi^+\pi^+)$ для экспериментальных событий после использования всех критериев отбора.

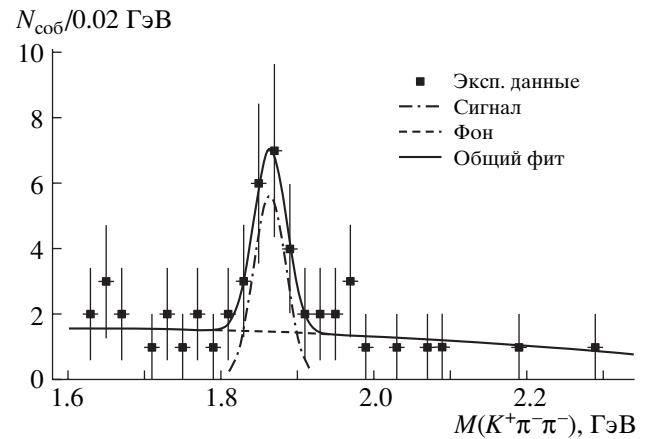


Рис. 10. Спектр эффективных масс системы $(K^+\pi^-\pi^-)$ для экспериментальных событий после использования всех критериев отбора.

15.0, фон под сигналом — 8.7 событий. Масса D^- -мезона равна 1864 ± 8 МэВ, среднеквадратичное отклонение — 22 МэВ. Эффективность выделения сигнала от D^- -мезона, полученная из моделирования, равна $\varepsilon(D^-) = 0.008$.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ D^\pm -МЕЗОНОВ

В спектре эффективных масс системы $(K^-\pi^+\pi^+)$ (рис. 9) была выделена полоса сигнала $M(D^+) \pm 2.5\sigma$ согласно параметрам фита, и для этих событий построено распределение по приведенной длине $L_{пр}$. Учет фоновой подложки проводился из распределения по $L_{пр}$ для фоновых событий вне интервала сигнала в массовом спектре. Далее экспериментальное распределение по $L_{пр}$ восстанавливалось с учетом эффективности (ε)

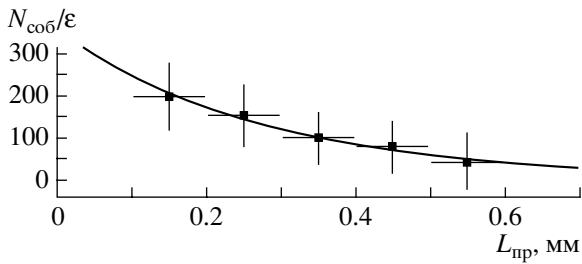


Рис. 11. Восстановленная экспериментальная длина пробега D^+ -мезона с учетом эффективности регистрации.

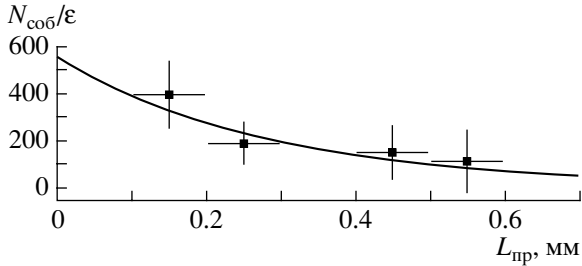


Рис. 12. То же, что на рис. 11, но для D^- -мезона.

регистрации событий с D^+ в данном интервале $L_{пр}$ (рис. 11), полученной из моделирования, и фитировалось функцией $\exp(-L/c\tau)$. Из полученного значения показателя экспоненты измерен параметр $c\tau = 291 \pm 75$ мкм (табличное значение: $c\tau(D^+) = 311.8$ мкм). Аналогичным образом измерялось время жизни D^- -мезона (рис. 12), было получено $c\tau = 341 \pm 88$ мкм. Ошибки в значениях параметра $c\tau$ — статистические. Тот факт, что измеренные времена жизни D^\pm -мезонов близки к табличному значению, подтверждает регистрацию очарованных частиц в эксперименте. Оценки величины $c\tau$ для областей вне сигнала существенно отличаются от этих значений.

Таблица 1. Значения параметров для вычисления сечений

Параметр	C	Si	Pb
A	12	28	207
N_0	11.37×10^6	27.44×10^6	13.19×10^6
D^+			
N_s	2	8	6
D^-			
N_s	2	7	6

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ D^\pm -МЕЗОНОВ И ИХ A -ЗАВИСИМОСТЬ

Для расчета сечений образования D -мезонов на ядрах мишени использовалась формула

$$N_s = [N_0 \times (\sigma_D \times A^\alpha) / (\sigma_{pp} \times A^{0.7})] \times [(B \times \epsilon) / K_{tr}],$$

где N_s — число событий в сигнале, полученное из анализа массовых спектров для каждого вида ядер мишени (см. табл. 1); N_0 — число событий с pA -взаимодействиями в мишени (см. табл. 1); σ_D — сечение образования очарованных частиц; A — атомный вес материала мишени (C, Si, Pb); α — показатель степени A -зависимости сечений образования очарованных частиц (для сечения неупругих pA -взаимодействий он принимается равным 0.7); σ_{pp} — сечение неупругих pp -взаимодействий при энергии 70 ГэВ ($= 31\,440$ мкбн); B — парциальная вероятность канала (бренчинг) распада $D^\pm \rightarrow K\pi\pi$ ($= 0.094$); ϵ — эффективность регистрации D -мезонов: $\epsilon(D^+) = 0.014$, $\epsilon(D^-) = 0.008$; $K_{tr} = 0.57$ (коэффициент триггирования, т. е. степень подавления регистрации неупругих событий во время набора данных [3], уточненный).

Вводя замену $C_D = [N_0 / (\sigma_{pp} \times A^{0.7})] \times [(B \times \epsilon) / K_{tr}]$, получаем

$$N_s = C_D \times \sigma_D \times A^\alpha$$

или

$$\ln(N_s/C_D) = \alpha \times \ln(A) + \ln(\sigma_D).$$

На рис. 13 представлены A -зависимости сечений образования очарованных частиц в материале мишени. После параметризации этой зависимости прямой линией получаем значение параметра A -зависимости $\alpha = 1.02 \pm 0.26$ для событий с рождением D^+ и $\alpha = 1.04 \pm 0.27$ для событий с рождением D^- . Ошибки в значениях параметра α являются статистическими.

Полученная параметризация A -зависимости приводит к следующим взвешенным по ядрам мишени средним значениям полных инклюзивных сечений:

$$\begin{aligned} \sigma(D^+) &= 1.2 \pm 0.4(\text{стат.}) \pm 0.2(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон,} \\ \sigma(D^-) &= 1.9 \pm 0.6(\text{стат.}) \pm 0.4(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон.} \end{aligned}$$

Относительные ошибки полученных сечений обусловлены статистикой сигналов ($\approx 30\%$) и неопределенностями в вычислениях эффективностей и коэффициента триггирования ($\approx 15\%$).

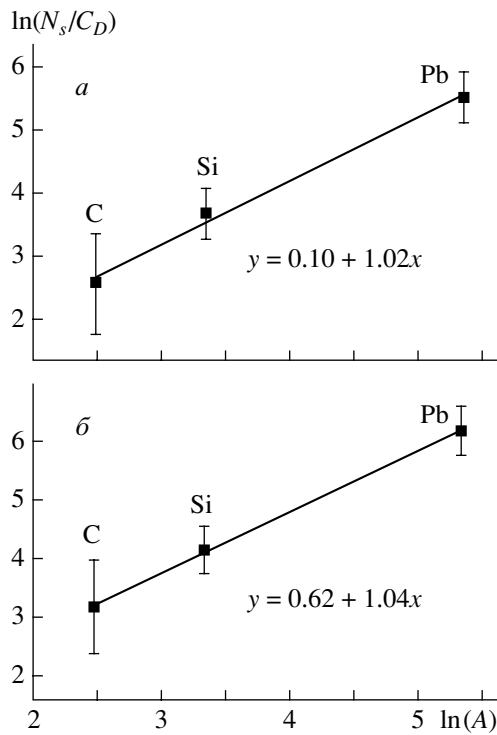


Рис. 13. A -зависимости сечений образования D^+ (а) и D^- (б) в материале мишени (C, Si, Pb).

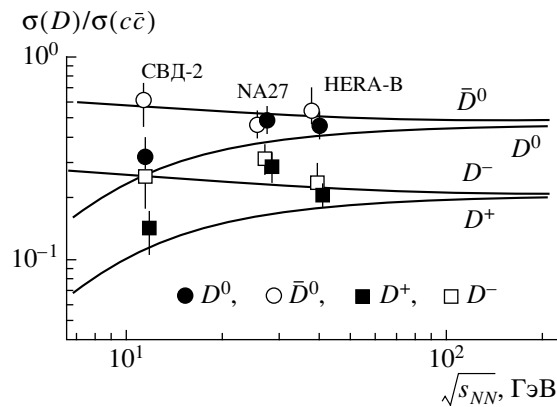


Рис. 14. Относительные выходы очарованных мезонов. Экспериментальные точки взяты из табл. 2, а теоретические кривые — из работы [8].

ОТНОШЕНИЯ ВЫХОДОВ ОЧАРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

Ранее в работе [3] по результатам регистрации нейтральных D -мезонов была получена оценка полного сечения образования очарованных частиц в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ:

$$\sigma(c\bar{c}) = 7.1 \pm 2.4(\text{стат.}) \pm 1.4(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон.}$$

На основе этих данных оценки выходов заряженных очарованных D -мезонов равны: D^+ -мезона — 17% и D^- -мезона — 27%.

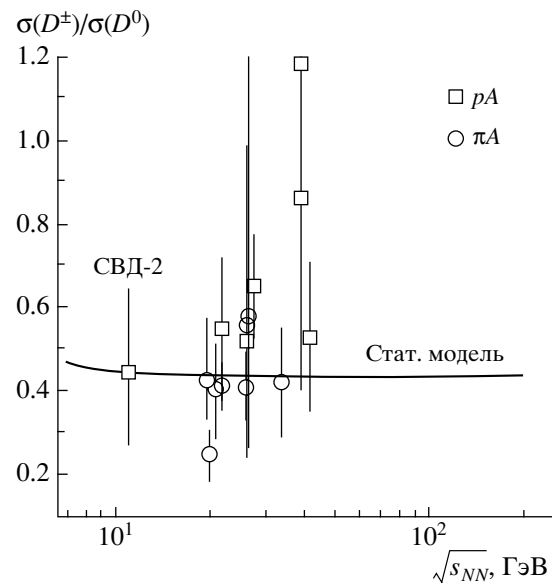


Рис. 15. Отношения сечений образования заряженных и нейтральных D -мезонов.

По результатам работы [3] оценены полные инклюзивные сечения образования нейтральных очарованных мезонов:

$$\sigma(D^0) = 2.5 \pm 0.8(\text{стат.}) \pm 0.5(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон,}$$

$$\sigma(\bar{D}^0) = 4.6 \pm 1.6(\text{стат.}) \pm 0.9(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон.}$$

Отношение выходов заряженных и нейтральных D -мезонов: $(D^+ + D^-)/(D^0 + \bar{D}^0) = 44\%$. Измеренные в этом эксперименте выходы D -мезонов и их отношения в сравнении с данными двух других известных экспериментов и теоретическими предсказаниями для пучка протонов с энергией 70 ГэВ приведены в табл. 2 и на рис. 14. Выходы частиц и их отношения либо взяты из работ [9, 10], либо вычислены по приведенным в них данным.

Как видно из табл. 2 и рис. 14, вклады заряженных и нейтральных D -мезонов в полное сечение образования открытого чарма в pA -взаимодействиях меняются с изменением энергии взаимодействия. Так, вклады D^0 - и D^+ -мезонов проявляют тенденцию к снижению с уменьшением энергии взаимодействия до 70 ГэВ, а вклады \bar{D}^0 - и D^- -мезонов растут, т.е. растет разница во вкладах частиц и античастиц в сечения образования открытого чарма в pA -взаимодействиях с уменьшением энергии взаимодействия.

Экспериментально большая разница в выходах очарованных частиц и античастиц впервые наблюдалась в нейтрон-ядерных взаимодействиях при средней энергии пучка нейтронов 43 ГэВ в эксперименте БИС-2. В эксперименте были зарегистрированы распады античастиц (\bar{D}^0 - и D^- -мезонов) [11], но не были обнаружены распады

Таблица 2. Отношения выходов очарованных частиц

Выходы и отношение выходов D -мезонов	PUTHIA pp	FRITIOF			СВД-2 pA	Другие эксперименты	
		C	Si	Pb		NA-27	HERA-B
D^0	0.28	0.48	0.51	0.55	0.35 ± 0.16	0.57 ± 0.08	0.44 ± 0.18
\bar{D}^0	0.74	0.60	0.59	0.58	0.65 ± 0.31	0.43 ± 0.09	0.54 ± 0.23
D^+	0.13	0.28	0.29	0.29	0.16 ± 0.07	0.31 ± 0.06	0.19 ± 0.08
D^-	0.24	0.28	0.27	0.28	0.27 ± 0.17	0.34 ± 0.06	0.25 ± 0.11
D^0/\bar{D}^0	0.38	0.80	0.86	0.95	0.54 ± 0.25	1.33 ± 0.25	0.81 ± 0.23
D^+/D^-	0.54	1.0	1.1	1.0	0.59 ± 0.20	0.92 ± 0.21	0.76 ± 0.22
$D^\pm/(D^0 + \bar{D}^0)$	0.36	0.51	0.51	0.5	0.44 ± 0.24	0.65 ± 0.21	0.46 ± 0.18
D^+/D^0	0.18	0.56	0.56	0.52	0.46 ± 0.21	0.54 ± 0.11	0.44 ± 0.12
D^-/\bar{D}^0	0.32	0.47	0.46	0.48	0.42 ± 0.26	0.78 ± 0.19	0.47 ± 0.14

частиц (D^0 - и D^+ -мезонов). Сечения рождения частиц оказались ниже порога чувствительности этого эксперимента. Такое поведение вкладов D -мезонов в сечение рождения чарма находит свое объяснение в возможном влиянии ядерной материи на образование этих частиц, механизмы которого рассматриваются в ряде теоретических работ [12]. Полученные нами результаты по выходам D -мезонов (рис. 14) сравниваются с предсказаниями модели статистической адронизации [8, 13].

На рис. 15 представлены отношения сечений образования заряженных и нейтральных D -мезонов из работы [14] с добавлением результата, полученного в настоящей работе. Данные также сравниваются с вычислениями по статистической модели [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В эксперименте SERP-E-184 по поиску образования очарованных частиц и изучению их характеристик в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ на установке СВД-2 выделены сигналы от распада заряженных D^\pm -мезонов в спектрах эффективных масс трехчастичных систем ($K\pi\pi$). В результате детального моделирования с помощью программ FRITIOF7.02 и GEANT3.21 оптимизированы критерии отбора событий и вычислены эффективности регистрации D^\pm -мезонов. Полученные инклюзивные сечения образования D^\pm -мезонов при околопороговой энергии равны:

$$\sigma(D^+) = 1.2 \pm 0.4(\text{стат.}) \pm 0.2(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон},$$

$$\sigma(D^-) = 1.9 \pm 0.6(\text{стат.}) \pm 0.4(\text{сист.}) \text{ мкбн/нуклон}.$$

Наличие в активной мишени установки СВД-2 набора пластинок из разных материалов (C, Si,

Pb) позволяет измерить параметры A -зависимости сечений образования D^\pm -мезонов:

$$\alpha = 1.02 \pm 0.26 \text{ для } D^+,$$

$$\alpha = 1.04 \pm 0.27 \text{ для } D^-.$$

С использованием ранее полученных оценок полного сечения образования очарованных частиц [3] и сечений образования нейтральных $D^0(\bar{D}^0)$ -мезонов измерены значения выходов заряженных D^\pm -мезонов и их отношения в сравнении с данными других экспериментов и теоретическими предсказаниями. Экспериментальные данные по выходам очарованных частиц в околопороговой области энергий pA -взаимодействий близки к предсказаниям модели статистической адронизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е. Н. Ардашев и др., Препринт № 96-98, ИФВЭ (Протвино, 1996); <http://web.ihep.su/library/pubs/prep1996/ps/96-98.pdf>
2. А. П. Воробьев и др., Препринт № 2008-17, ИФВЭ (Протвино, 2008); <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2008/ps/2008-17.pdf>
3. В. Н. Рядовиков (от имени Сотрудн. СВД-2), ЯФ **73**, 1585 (2010) [Phys. Atom. Nucl. **73**, 1539 (2010)]; <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2009/ps/2009-09.pdf>; <http://arxiv.org/abs/1004.3676>
4. В. Н. Рядовиков (от имени Сотрудн. СВД-2), ЯФ **74**, 342 (2011) [Phys. Atom. Nucl. **74**, 324 (2011)]; <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2010/ps/2010-2.pdf>; <http://arxiv.org/abs/1106.1563>
5. В. В. Авдейчиков и др., ПТЭ, № 1, 14 (2013) [Instrum. Exp. Tech. **56**, 9 (2013)].
6. GEANT3.21, CERN Program Library Long Writup W5013.
7. H. Pi, Comput. Phys. Commun. **71**, 173 (1992).

8. A. Andronic *et al.*, Phys. Lett. B **659**, 149 (2008); <http://arxiv.org/abs/0708.1488v1>
9. LEBE-EHS Collab., Phys. Lett. B **189**, 476 (1987).
10. I. Abt *et al.*, Eur. Phys. J. C **52**, 531 (2007); <http://arxiv.org/abs/0708.1443v1>
11. A. Aleev *et al.*, Z. Phys. C **37**, 243 (1988).
12. L. Tolos, J. Schaffner-Bielich, and H. Stöcker, Phys. Lett. B **635**, 85 (2006); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/0509054>; K. Tsushima, D. H. Lu, A. W. Thomas, *et al.*, Phys. Rev. C **59**, 2824 (1999); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/9810016>; A. Sibirtsev, K. Tsushima, and A. W. Thomas, Eur. Phys. J. A **6**, 351 (1999); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/9904016>; A. Sibirtsev, K. Tsushima, K. Saito, and A. W. Thomas, Phys. Lett. B **484**, 23 (2000); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/9904015>;
- A. Hayashigaki, Phys. Lett. B **487**, 96 (2000); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/0001051>; W. Cassing, E. L. Bratkovskaya, and A. Sibirtsev, Nucl. Phys. A **691**, 753 (2001); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/0010071>; B. Friman, S. H. Lee, and T. Song, Phys. Lett. B **548**, 153 (2002); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/0207006>; M. F. M. Lutz and C. L. Korpa, Phys. Lett. B **633**, 43 (2006); <http://arxiv.org/abs/nucl-th/0510006>; K. Morita and S. H. Lee, <http://arxiv.org/abs/0704.2021>
13. A. Andronic, F. Beutler, P. Braun-Munzinger, *et al.*, <http://arxiv.org/abs/0904.1368v2>
14. C. Lourenco and H. K. Wöhri, Phys. Rept. **433**, 127 (2006); <http://arxiv.org/abs/hep-ph/0609101>

DETECTION OF CHARGED CHARMED D^\pm -MESON PRODUCTION IN pA INTERACTION AT 70 GeV WITH SVD-2 SETUP

V. N. Ryadovikov
(On behalf of the SVD-2 Collaboration¹⁾)

The results of data handling for E-184 experiment obtained with 70-GeV proton beam irradiation of active target with carbon, silicon, and lead plates are presented. The event selection criteria for three-prong charged charmed meson decays are developed and detection efficiency is calculated with detailed simulation using FRITIOF7.02 and GEANT3.21 packages. The signals of charmed particle decays are found and their inclusive production cross sections are estimated together with A^α parameterization. The lifetimes of charged charmed mesons are measured. Yields of D mesons and their ratios are compared to the data of other experiments and theoretical predictions.

¹⁾ A. N. Aleev, E. N. Ardashev, A. G. Afonin, V. P. Balandin, S. G. Basiladze, S. F. Berezhnev, G. A. Bogdanova, M. Yu. Bogolyubsky, G. G. Ermakov, P. F. Ermolov, N. F. Furmanec, V. F. Golovkin, S. N. Golovnia, S. A. Gorokhov, N. I. Grishin, Ya. V. Grishkevich, D. E. Karmanov, A. G. Kholodenko, V. I. Kireev, A. A. Kiriakov, N. A. Kouzmine, V. N. Kramarenko, A. V. Kubarovsky, L. L. Kurchaninov, G. I. Lanshikov, A. K. Leflat, S. I. Lyutov, M. M. Merkin, G. Ya. Mitrofanov, V. S. Petrov, Yu. P. Petukhov, A. V. Pleskach, V. V. Popov, V. M. Ronjin, V. A. Senko, N. A. Shalanda, M. M. Soldatov, L. A. Tikhonova, Yu. P. Tsyupa, A. M. Vischnevskaya, V. Yu. Volkov, A. P. Vorobiev, A. G. Voronin, V. I. Yakimchuk, A. I. Yukaev, V. N. Zapolsky, E. G. Zverev.