

## ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОЧАРОВАННЫХ БАРИОНОВ В $pA$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 70 ГэВ

© 2016 г. В. Н. Рядовиков\*  
(от имени Сотрудничества СВД-2\*\*)

НИЦ “Курчатовский институт”, Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия  
Поступила в редакцию 27.05.2015 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 с энергией 70 ГэВ. В результате детального моделирования с помощью программ FRITIOF7.02 и GEANT3.21 были оптимизированы критерии отбора событий и вычислена эффективность регистрации  $\Lambda_c^+$ -бариона. После выделения сигнала от трехчастичного распада  $\Lambda_c^+$ -бариона измерено инклюзивное сечение его образования при околопороговой энергии, время жизни и параметр  $A$ -зависимости сечения. Приведена таблица выходов для  $\Lambda_c^+$ -бариона в сравнении с данными других экспериментов и теоретическими предсказаниями.

DOI: 10.7868/S0044002716020161

### ВВЕДЕНИЕ

В работе исследовано образование очарованных  $\Lambda_c^+$ -барионов в  $pA$ -взаимодействиях при импульсе пучка протонов 70 ГэВ/с на трех ядерных мишенях — углерод, кремний и свинец в экспери-

менте SERP-E-184 [1]. Эти исследования являются продолжением программы изучения очарованных частиц в околопороговой области энергий в данном эксперименте и дополняют ранее полученные экспериментальные результаты по рождению заряженных и нейтральных  $D$ -мезонов [2–5]. К настоящему времени экспериментальных данных по рождению очарованных барионов в  $pp$ - и  $pA$ -взаимодействиях значительно меньше, чем по рождению очарованных мезонов. Это связано с меньшими по сравнению с  $D$ -мезонами временами их жизни и, соответственно, меньшими длинами пробега от вершины взаимодействия до распада, что затрудняет регистрацию  $\Lambda_c^+$ -частиц. Обнаруженное в работе [5] увеличение относительных выходов  $\check{D}$ -мезонов с уменьшением энергии взаимодействия может служить указанием на то, что такой же тенденцией должны обладать выходы очарованных барионов  $\Lambda_c^+$  — как результат их парного рождения с  $\check{D}$ -мезонами при небольших энергиях  $pA$ -взаимодействий.

Обсуждаемые в работе экспериментальные данные получены на установке СВД-2 и пучке ускорителя У-70 ГИЦ ИФВЭ. Подробное описание установки СВД-2 можно найти в работе [6].

### ВЫДЕЛЕНИЕ СОБЫТИЙ С РАСПАДАМИ $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

Процедуры первичного отбора событий в настоящей работе были аналогичны процедурам, использованным в работе [5]. Но в данном случае

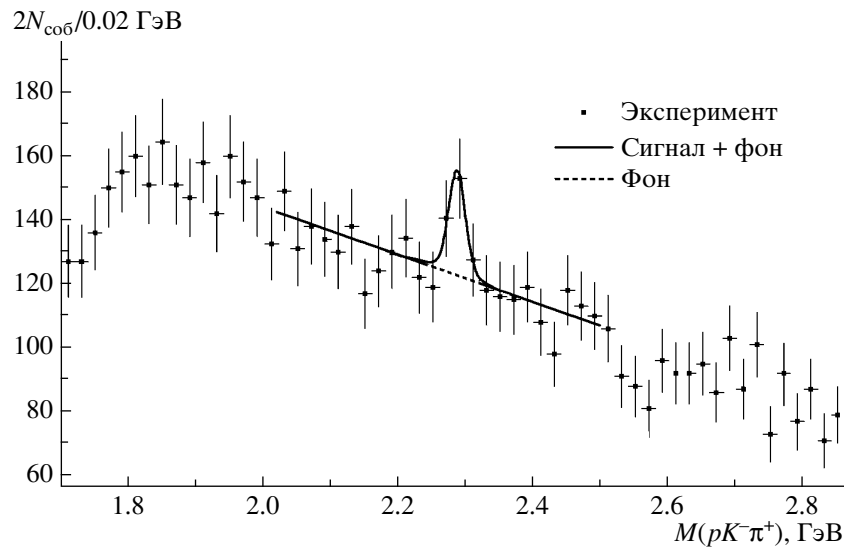
\*E-mail: riadovikov@ihep.ru

\*\*А. Н. Алеев<sup>1)</sup>, Е. Н. Ардашев<sup>2)</sup>, А. Г. Афонин<sup>2)</sup>, В. П. Баландин<sup>1)</sup>, С. Г. Басиладзе<sup>3)</sup>, С. Ф. Бережнев<sup>3)</sup>, Г. А. Богданова<sup>3)</sup>, М. Ю. Боголюбовский<sup>2)</sup>, А. М. Вишневская<sup>3)</sup>, В. Ю. Волков<sup>3)</sup>, А. П. Воробьев<sup>2)</sup>, А. Г. Воронин<sup>3)</sup>, В. Ф. Головкин<sup>2)</sup>, С. Н. Головня<sup>2)</sup>, С. А. Горохов<sup>2)</sup>, Н. И. Гришин<sup>3)</sup>, Я. В. Гришкевич<sup>3)</sup>, Г. Г. Ермаков<sup>3)</sup>, П. Ф. Ермолов<sup>3)</sup>, И. Н. Ерофеева<sup>3)</sup>, В. Н. Запольский<sup>2)</sup>, Е. Г. Зверев<sup>3)</sup>, Д. Е. Карманов<sup>3)</sup>, В. И. Киреев<sup>1)</sup>, А. А. Киряков<sup>2)</sup>, В. Н. Крамаренко<sup>3)</sup>, А. В. Кубаровский<sup>3)</sup>, Н. А. Кузьмин<sup>1)</sup>, Л. Л. Курчанинов<sup>2)</sup>, Г. И. Ланщиков<sup>1)</sup>, А. К. Лефлат<sup>3)</sup>, М. М. Меркин<sup>3)</sup>, Г. Я. Митрофанов<sup>2)</sup>, В. С. Петров<sup>2)</sup>, Ю. П. Петухов<sup>1)</sup>, А. В. Плескач<sup>2)</sup>, В. В. Попов<sup>2)</sup>, В. М. Роньжин<sup>2)</sup>, В. А. Сенько<sup>2)</sup>, М. М. Солдатов<sup>2)</sup>, Л. А. Тихонова<sup>3)</sup>, Н. Ф. Фурманец<sup>1)</sup>, А. Г. Холоденко<sup>2)</sup>, Ю. П. Цюпа<sup>2)</sup>, Н. А. Шаланда<sup>2)</sup>, А. И. Юкаев<sup>1)</sup>, В. И. Якимчук<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия.

<sup>2)</sup> НИЦ “Курчатовский институт”, Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия.

<sup>3)</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия.



**Рис. 1.** Спектр эффективных масс системы  $(pK^- \pi^+)$  (две гипотезы) после первичного отбора событий с трехлучевыми вторичными вершинами для всех мишеней. Прямая линия — фит фона.

они усилены по критерию ассоциации вторичной вершины с первичной вершиной в связи с малой длиной пробега  $\Lambda_c^+$ -барионов. 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, 7]; данная процедура является “быстрым фильтром” для отбора событий с возможным образованием очарованных частиц;

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

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

расстояние от центра пластины мишени до вершины взаимодействия не должно превышать 300 мкм вдоль оси  $Z$ .

После первичного отбора для анализа остается 5846 событий. Так как в эксперименте идентификация типа частиц отсутствует, то в каждом событии с трехлучевой вторичной вершиной имеются две гипотезы формирования  $\Lambda_c^+$ -бариона. На рис. 1 представлен спектр эффективных масс системы  $(pK^- \pi^+)$  для двух гипотез положительного трека.

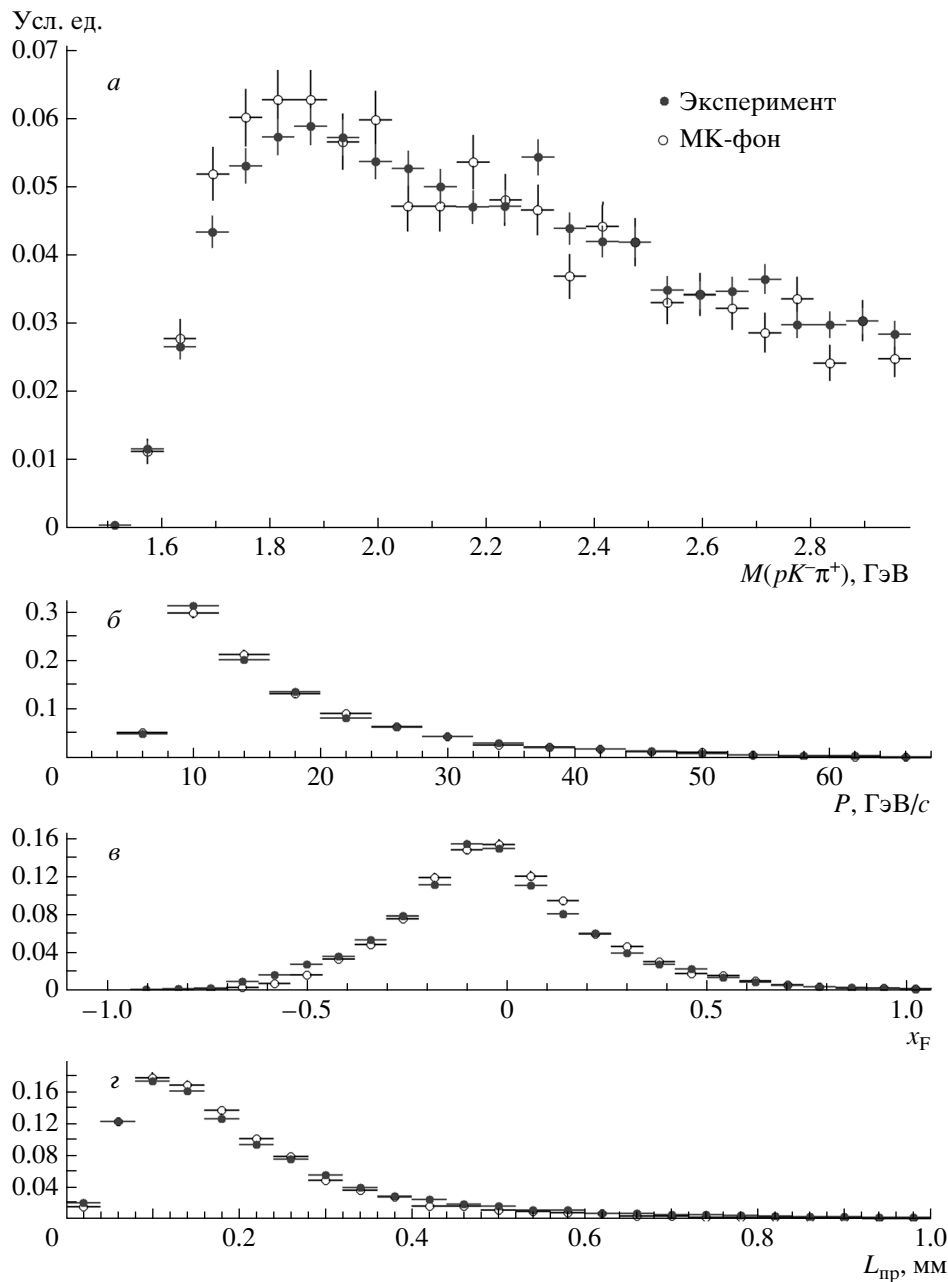
На рис. 1 наблюдается сигнал от распада  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$  с параметрами: масса  $M(\Lambda_c^+) = 2288 \pm 7$  МэВ, среднеквадратичное отклонение 13.4 МэВ, сигнал  $56.4 \pm 20.5$  событий. Оценка величины сигнала является несколько завышенной из-за попадания двух гипотез одного события в

массовый коридор сигнала (пересечение гипотез). Как было показано в работе [5], сигнал может иметь примесь ложных трехлучевых вершин, в основном из-за наложения заряженных треков из первичной вершины на вершину распада  $K_S^0$ -мезона. Для построения распределений физических величин для  $\Lambda_c^+$ -барионов и подтверждения регистрации  $\Lambda_c^+$ -частиц необходимо уменьшить фоновую подложку и выполнить разделение гипотез, используя для этого критерии отбора, полученные в результате моделирования методом Монте-Карло (МК).

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИСТРАЦИИ $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

Для моделирования протон-ядерных взаимодействий при 70 ГэВ использовалась программа FRITIOF7.02 [8]. В работах [2, 3] было показано, что программа FRITIOF7.02 правильно предсказывает поведение основных характеристик частиц в  $pA$ -взаимодействиях при этой энергии. Для моделирования регистрации  $\Lambda_c^+$ -барионов в экспериментальной установке использовалась программа GEANT3.21 [9], где выполнялся распад  $\Lambda_c^+$ -частиц по каналу  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ .

Проверка настройки МК-процедур осуществлялась по качеству описания фоновых условий эксперимента для исследуемого распада. Для этих целей была получена выборка МК-событий для неупругих  $pA$ -взаимодействий с запретом на формирование чарма (МК-фон). На рис. 2 сравниваются основные характеристики экспериментальных событий после первичного отбора и фоновых

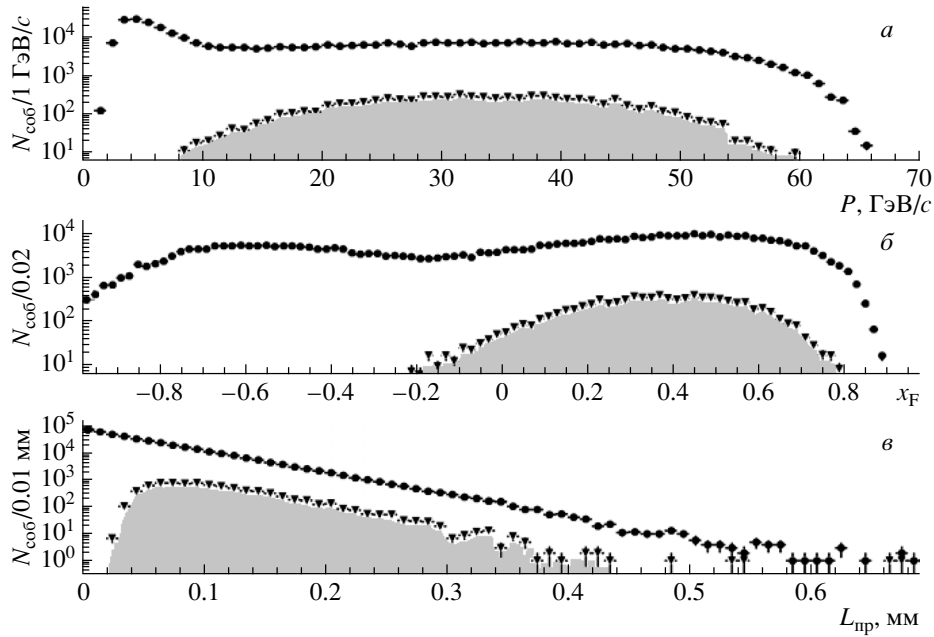


**Рис. 2.** а – Эффективная масса  $M(pK^- \pi^+)$ , б – импульс  $P$ , в –  $x_F$ , и г – приведенная длина пробега  $L_{пр}$  для экспериментальных событий после первичного отбора и фоновых МК-событий.

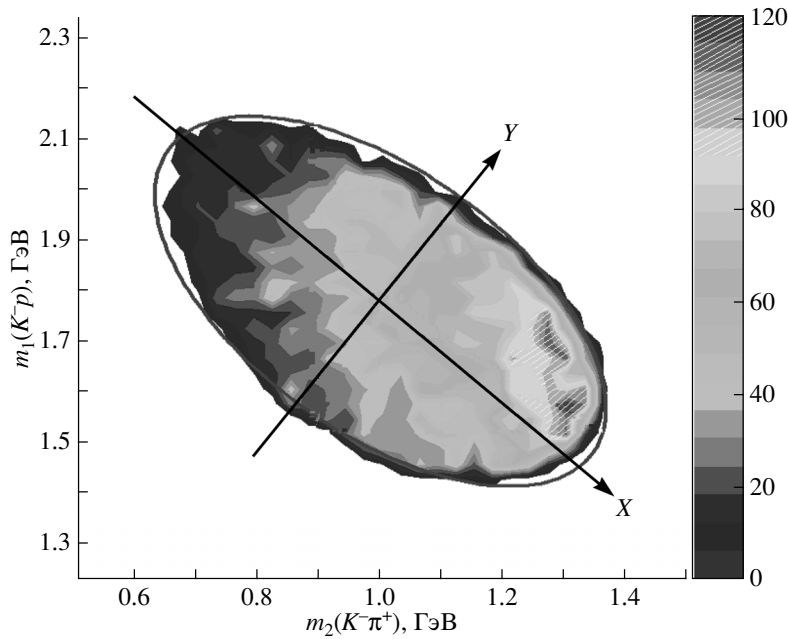
МК-событий: эффективная масса  $M(pK^- \pi^+)$ , импульс  $P$ , переменная Фейнмана  $x_F$  и приведенная длина пробега  $L_{пр} = L \times M/P$ , где  $L$  – видимая длина пробега. Рисунок 2 показывает, что распределения по импульсу системы ( $pK^- \pi^+$ ),  $x_F$  и приведенной длине пробега для экспериментальных событий совпадают с распределениями для МК-событий.

Для оптимизации критериев отбора событий с  $\Lambda_c^+$  при помощи программ FRITIOF и GEANT была получена выборка, содержащая 500 тыс. МК-

событий с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ . Далее эти события были обработаны по программе реконструкции с использованием предварительных критериев отбора. На рис. 3 представлены распределения по  $P$ ,  $x_F$  и  $L_{пр}$  системы ( $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ ) для МК-событий до и после их реконструкции. При анализе МК-событий с  $\Lambda_c^+$ -барионами для частицы с положительным зарядом рассматривались обе гипотезы  $p/\pi^+$ , как в реальном эксперименте. Количество



**Рис. 3.** Распределения по импульсу  $P$  (*a*),  $x_F$  (*b*) и приведенной длине пробега  $L_{пр}$  (*v*) системы ( $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ ) для МК-событий с  $\Lambda_c^+$ -барионами до (точки  $\bullet$ ) и после ( $\blacktriangledown$ ) их обработки по программе GEANT и программе реконструкции с использованием предварительных критериев отбора.



**Рис. 4.** Контурная диаграмма Далитца для МК-событий с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ .

моделируемых событий, в которых обе гипотезы попадают в пик  $\Lambda_c^+$ -частиц, составляет  $\sim 5\%$ .

**КРИТЕРИИ ОТБОРА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАСПАДОВ  $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ**

*a) Диаграмма Далитца. Выделение фазового пространства распада  $\Lambda_c^+$ -барионов*

Для уменьшения фона в экспериментальном распределении эффективных масс системы

( $pK^-\pi^+$ ) был выполнен анализ фазового пространства, соответствующего данному трехчастичному распаду. Для этого использовалась диаграмма Далитца системы в координатах  $m_1(K^-\pi^+)$  и  $m_2(K^-p)$ . На рис. 4 приведена контурная диаграмма Далитца, полученная для МК-событий с распадом  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ .

Граница контурной диаграммы Далитца для МК-событий аппроксимировалась эллипсом с

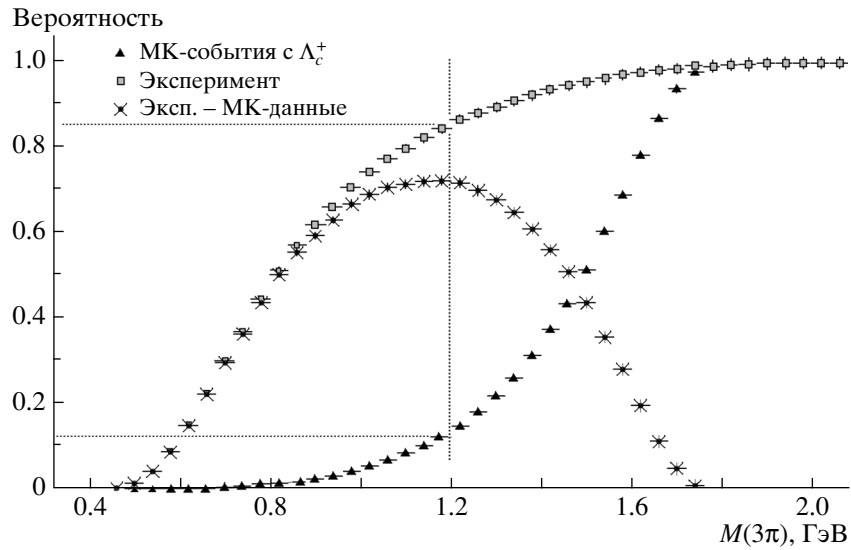


Рис. 5. Интегральная плотность распределения вероятностей событий в зависимости от эффективной массы системы ( $3\pi$ ).

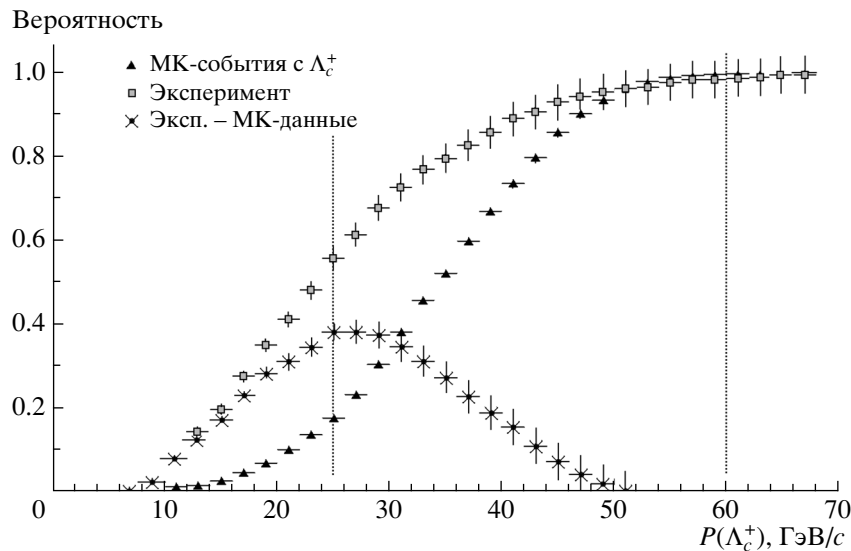


Рис. 6. Интегральная плотность распределения вероятностей событий в зависимости от импульса системы ( $pK^-\pi^+$ ).

параметрами:

$$R_{\text{ell}} = X^2/R_X^2 + Y^2/R_Y^2 = 1,$$

где

$$\begin{aligned} X &= (m_1 - 1) \cos(-44.76^\circ) + \\ &+ (m_2 - 1.78) \sin(-44.76^\circ), \\ Y &= (m_2 - 1.78) \cos(-44.76^\circ) - \\ &- (m_1 - 1) \sin(-44.76^\circ), \end{aligned}$$

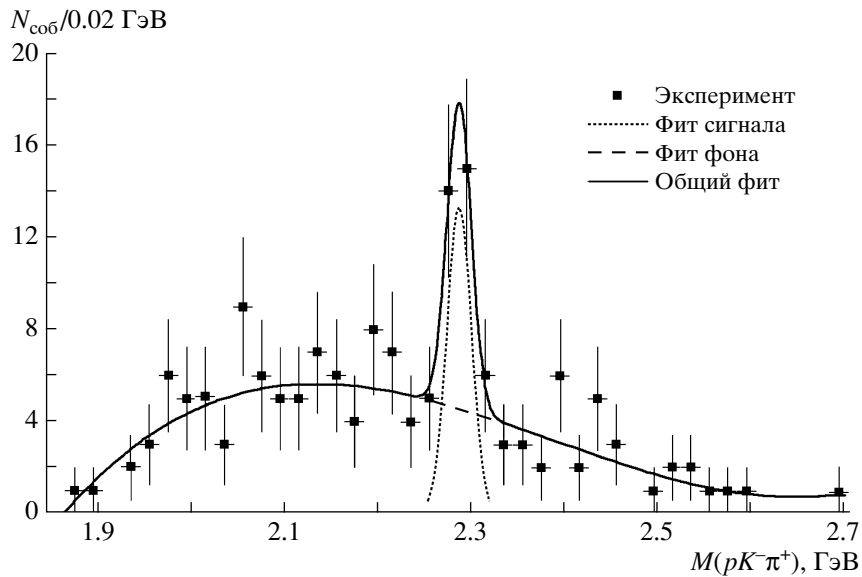
$$R_X = 0.46, \quad R_Y = 0.24 - \text{полуоси эллипса.}$$

Эти параметры используются для ограничения области фазового пространства эксперимен-

тальных событий, соответствующей распаду  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ , при условии

$$R_{\text{ell}} < 1.1. \quad (1)$$

Необходимо заметить, что в (1) использована верхняя граница по  $R_{\text{ell}}$  не 1 (соответствующая точной границе диаграммы Далитца), а 1.1, что является смягчением данного критерия. Так как на каждое событие имеются две гипотезы для  $\Lambda_c^+$ , то критерий (1) применяется для каждой гипотезы отдельно, при этом гипотеза, не удовлетворяющая данному критерию, принимается как ложная и исключается из дальнейшего рассмотрения.



**Рис. 7.** Спектр эффективных масс системы  $(pK^-\pi^+)$  для экспериментальных событий после использования всех критериев отбора.

*б) Критерий отбора для исключения ложных вершин*

Как показали предыдущие исследования [5], значительная часть фона в трехчастичных распадах, формируемая наложением трека из первичной вершины на вершину распада  $K_S^0$ -мезона, может быть исключена путем подавления вклада от  $K_S^0$ . Для этого рассмотрим представленные на рис. 5 интегральные плотности распределения вероятностей МК-событий с  $\Lambda_c^+$  и экспериментальных событий после предыдущего отбора, когда всем трекам трехчастичной системы приписана масса  $\pi$ -мезона.

По разности интегральных плотностей (обозначена крестиками на рис. 5) был установлен нижний предел на массу трехчастичной системы  $M(3\pi)_{\min} = 1.2$  ГэВ. Потери фоновых событий при этом составляют  $\sim 85\%$ , а потери МК-событий в области сигнала от  $\Lambda_c^+$  — не более  $12\%$ .

**Таблица 1.** Значения параметров для вычисления сечений

Параметр	C	Si	Pb
$A_i$	12	28	207
$N_{0i}$	$11.37 \times 10^6$	$27.44 \times 10^6$	$13.19 \times 10^6$
$N_{si}$	$2.7 \pm 1.7$	$11.0 \pm 3.3$	$7.0 \pm 2.7$

*в) Критерий отбора по импульсу  $\Lambda_c^+$ -барионов*

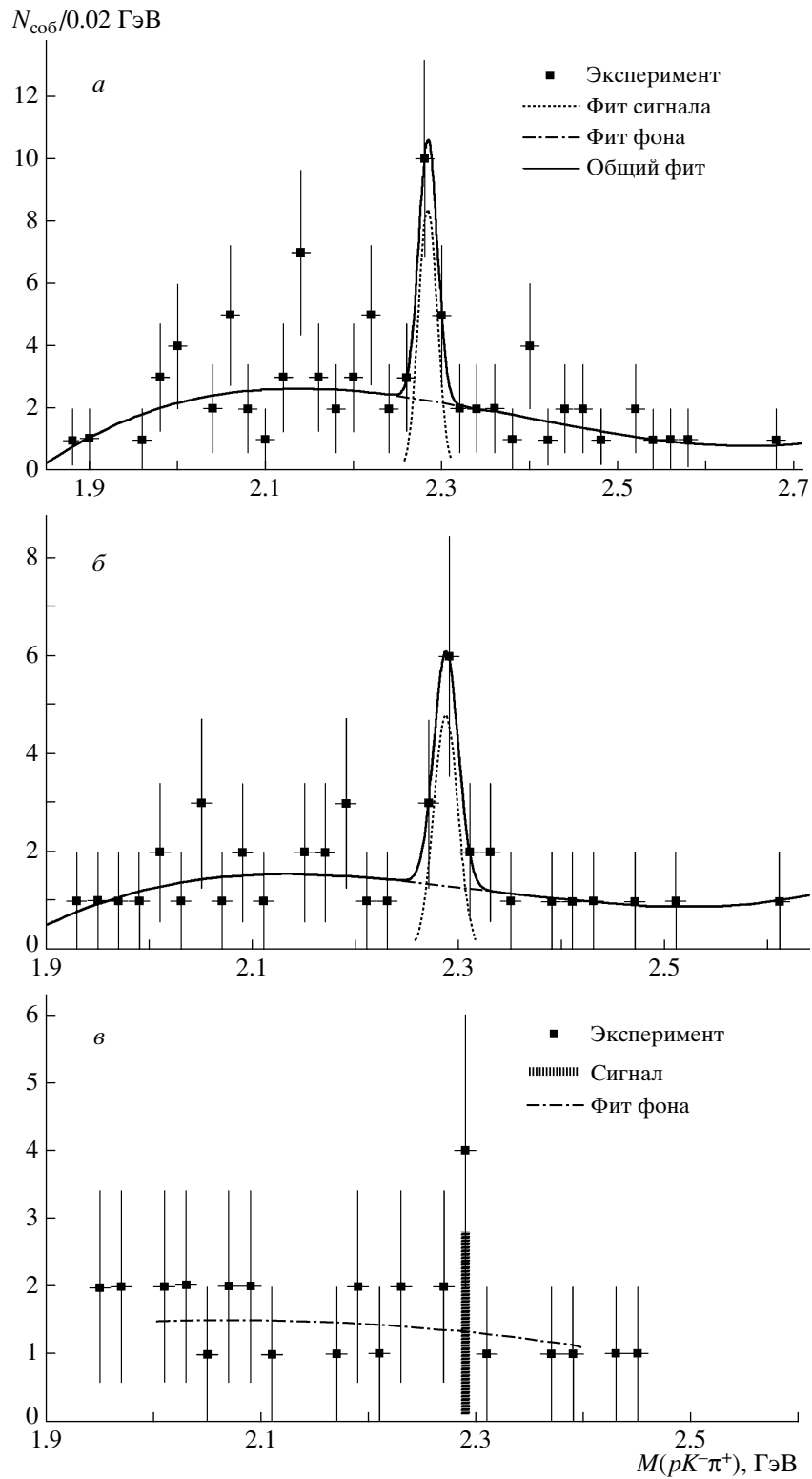
Еще один критерий отбора был выбран из анализа распределений по импульсам  $\Lambda_c^+$ -барионов. На рис. 6 приведены интегральные плотности распределения вероятностей для МК-событий с  $\Lambda_c^+$  и экспериментальных событий после применения вышеприведенных критериев а) и б). По разности интегральных плотностей (обозначена крестиками на рис. 6) было оптимизировано обрезание по импульсу трехчастичной системы ( $25 < P < 60$  ГэВ/c).

Результат применения критериев отбора показан на рис. 7. После параметризации спектра функцией Гаусса и полиномом получены параметры сигнала от  $\Lambda_c^+$ -барионов:  $\chi^2/\text{ndf} = 12.7/33$ , масса  $M(\Lambda_c^+) = 2287 \pm 4$  МэВ, среднеквадратичное отклонение  $13.1$  МэВ, сигнал  $21.6 \pm 6.0$  событий. При построении спектра применялась следующая процедура разделения гипотез:

1) если после применения критериев а)–в) остается одна гипотеза для  $\Lambda_c^+$ , то она вносится в гистограмму с весом 1;

2) когда после применения критериев а)–в) остаются обе гипотезы, то в случае, если обе гипотезы попадают в интервал масс  $\Lambda_c^+$ , они вносятся в гистограмму с весом 0.5; в противном случае обе гипотезы вносятся в гистограмму с весом 1.

По результатам моделирования пересечение гипотез в интервале масс  $\Lambda_c^+$ -бариона составило  $5\%$  от общего числа МК-событий, удовлетворяющих всем критериям отбора. Для экспериментальной выборки это должно быть  $\sim 1$  событие, но такового не оказалось.



**Рис. 8.** Экспериментальный спектр эффективных масс системы  $(pK^-\pi^+)$  для трех материалов мишеней: *a* – Si, *b* – Pb, *v* – C (сигнал оценен по числу событий над фитированным фоном).

СЕЧЕНИЕ РОЖДЕНИЯ  $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

Для расчета сечения рождения  $\Lambda_c^+$ -барионов использовалась формула

$$N_{si} = [N_{0i} \times (\sigma_\Lambda \times A_i^\alpha) / (\sigma_{pp} \times A_i^{0.7})] \times [(B \times \varepsilon) / K_{tr}],$$

где индекс  $i$  обозначает зависимость параметра от материала мишени (C, Si, Pb);  $N_{si}$  — число событий в сигнале, полученное из анализа спектров эффективных масс для каждого материала мишеней (см. рис. 8 и табл. 1);  $N_{0i}$  — число событий с неупругими  $pA$ -взаимодействиями в материале (см. табл. 1);  $\sigma_\Lambda$  — сечение образования очарованных частиц;  $A_i$  — атомный вес материала мишени;  $\alpha$  — показатель степени  $A$ -зависимости сечения образования очарованных частиц (для сечения неупругих  $pA$ -взаимодействий принимается равным 0.7);  $\sigma_{pp}$  — сечение неупругих  $pp$ -взаимодействий при энергии 70 ГэВ ( $= 31440$  мкбн);  $B$  — брэнчинг распада  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$  ( $= 0.05 \pm 0.013$ );  $\varepsilon$  — эффективность регистрации  $\Lambda_c^+$  ( $= 0.0112 \pm 0.0002$ );  $K_{tr} = 0.57 \pm 0.03$  (коэффициент триггирования [5]).

Вводя замену  $C_i = [N_{0i} / (\sigma_{pp} \times A_i^{0.7})] \times [(B \times \varepsilon) / K_{tr}]$ , получаем

$$N_{si} = C_i \times \sigma_\Lambda \times A_i^\alpha$$

или

$$\ln(N_{si}/C_i) = \alpha \times \ln(A_i) + \ln(\sigma_\Lambda). \quad (2)$$

После фитирования зависимости  $\ln(N_{si}/C_i)$  от  $\ln(A_i)$  линейной функцией были определены параметр  $A$ -зависимости  $\alpha = 0.9 \pm 0.2$  и сечение рождения  $\Lambda_c^+$  во всей кинематической области  $\sigma_\Lambda = 5.5 \pm 1.7$  мкбн/нуклон (рис. 9). Значение параметра  $\alpha$  зависит от переменной Фейнмана, поэтому отличие полученного значения от 1 можно объяснить тем, что в нашем случае  $\Lambda_c^+$  регистрируется при больших значениях  $x_F$ . Если зафиксировать параметр  $\alpha = 1.0$ , то получим сечение рождения  $\Lambda_c^+$ -барионов  $\sigma_\Lambda = 4.0 \pm 1.6$  мкбн/нуклон для всей области  $x_F$ . Определенное таким же способом сечение рождения  $\Lambda_c^+$ -барионов для области  $x_F > 0$  составляет  $\sigma_\Lambda = 3.5 \pm 1.4$  мкбн/нуклон при  $\alpha = 0.9$  (получено из фита) и  $\sigma_\Lambda = 2.6 \pm 1.0$  мкбн/нуклон при  $\alpha = 1.0$ . Эффективность регистрации  $\Lambda_c^+$ -барионов при этом равна  $\varepsilon = 0.0184 \pm 0.0003$ . Систематические ошибки в измеренном значении сечения  $\sigma_\Lambda$ , обусловленные неточностью определения эффективности регистрации и коэффициента триггирования, составляют 20% от статистических ошибок.

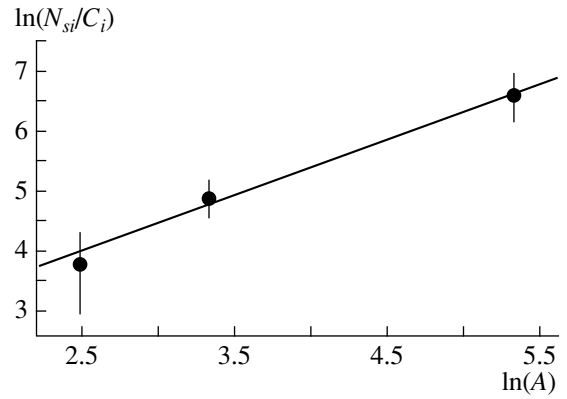


Рис. 9.  $A$ -зависимость сечения образования  $\Lambda_c^+$ -барионов.

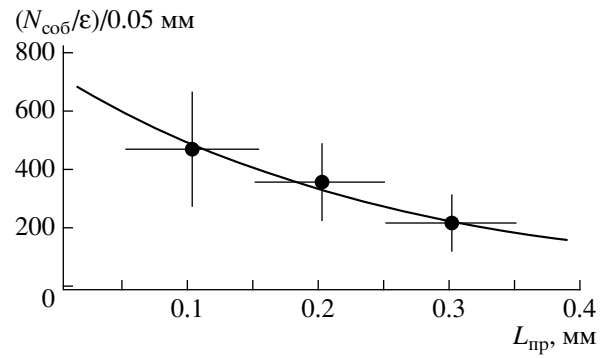


Рис. 10. Восстановленное распределение по  $L_{пр}$  с учетом эффективности регистрации. Кривая — результат параметризации данных экспоненциальной функцией.

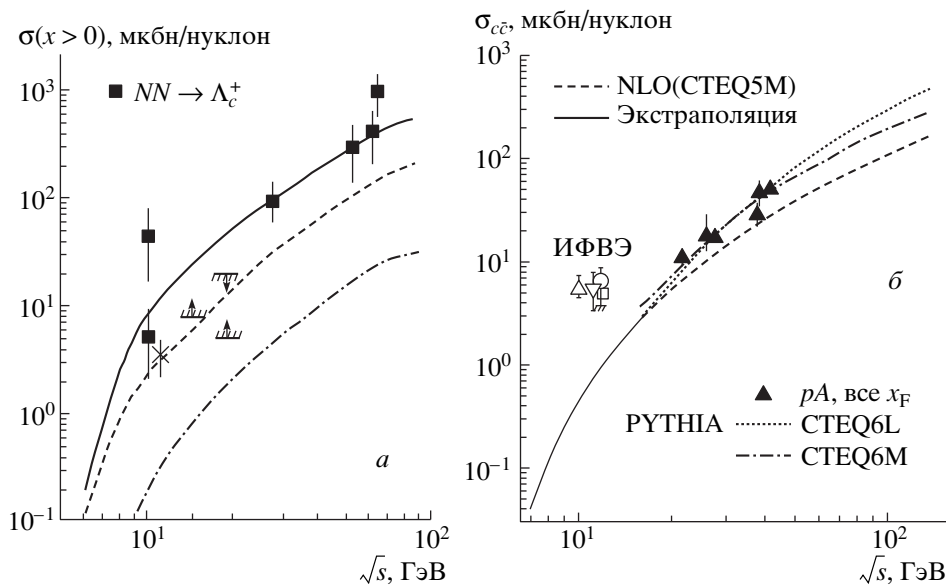
 ВРЕМЯ ЖИЗНИ  $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

В качестве проверки выборки событий с распадом  $\Lambda_c^+$ -барионов было измерено их время жизни методом интервалов, который подробно описан в работе [4]. В результате использования этого метода было восстановлено распределение по приведенной длине пробега  $\Lambda_c^+$ -барионов с учетом эффективности их регистрации, которое представлено на рис. 10. Измеренное значение параметра  $c\tau$  составило  $65 \pm 15$  мкм (ошибка статистическая) и близко к данным PDG ( $c\tau = 59.9$  мкм) в пределах ошибки. Это указывает на тот факт, что мы действительно регистрируем распады  $\Lambda_c^+$ -барионов. Значение  $c\tau$  для фоновых событий существенно отличается от этой величины.

## ВЫХОД ОЧАРОВАННОГО БАРИОНА

Выход очарованной частицы определяется отношением парциального сечения ее образования к полному сечению образования чарма  $\sigma_{cc}$ . Измерение выхода и его зависимость от энергии реакции

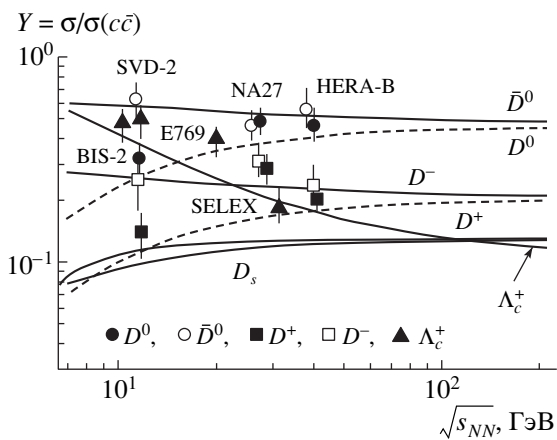




**Рис. 11.** *a* – Сечение рождения  $\Lambda_c^+$ -барионов для области  $x_F > 0$ . Экспериментальные данные:  $\blacksquare$  – из работ [10–14],  $\times$  – настоящая работа. Теоретические кривые из работы [10]: сплошная – для периферической модели, штриховая и штрихпунктирная – для двух вариантов модели КХД. *б* – Полное сечение образования чарма в  $pA$ -взаимодействиях [15]. Данные ИФВЭ:  $\circ$  – СВД,  $\triangle$  – БИС-2,  $\square$  – СКАТ,  $\nabla$  – “beam dump” эксперимент.

важны для проверки теоретических моделей  $pA$ -взаимодействия. Необходимо, чтобы парциальные сечения и полное сечение были измерены одновременно. В нашем эксперименте (E-184) ранее были измерены сечения образования  $D$ -мезонов, поэтому полное сечение образования чарма при  $\sqrt{s} = 11.8$  ГэВ можно оценить из формулы:

$$\begin{aligned} \sigma_{cc\bar{c}} &= (\sigma_{D^+} + \sigma_{D^0} + \sigma_{D^-} + \sigma_{\bar{D}^0} + \sigma_{\Lambda_c^+})/2 = \\ &= (1.2 + 2.5 + 1.9 + 4.6 + 4.0)/2 = \\ &= 7.1 \text{ мкбн/нуклон.} \end{aligned}$$



**Рис. 12.** Выходы очарованных частиц. Экспериментальные точки – из табл. 2, теоретические кривые – из работы [15].

В значении сечения имеется небольшая ( $\sim 10\%$ ) неопределенность, связанная с незнанием сечения рождения  $D_s$ -мезонов. Таким образом выход  $\Lambda_c^+$ -барионов равен  $4.0/7.1 = 0.56 \pm 0.27$ . Сравнить полученный результат с данными других экспериментов сложно, потому что немногочисленные значения сечений образования  $\Lambda_c^+$ -барионов приводятся, как правило, без оценок полного сечения образования чарма. Например, в работах [10–14] приводятся экспериментальные данные, которые изображены на рис. 11*а*. А на рис. 11*б* приведены данные по полным сечениям образования чарма в  $pA$ -взаимодействиях [15] с добавлением значений, полученных в экспериментах ИФВЭ (СВД [3], БИС-2 [16], СКАТ [17], “beam-dump” эксперименте [18]). Видно, что большинство сечений на рис. 11*а* превышают значения сечений на рис. 11*б*, т.е. очень завышены, и оценить выход  $\Lambda_c^+$ -барионов в отличных от нашей областях энергий, используя эти графики, невозможно.

В работе [5] была представлена таблица измеренных выходов  $D$ -мезонов, которые сравнивались с данными других экспериментов и теоретическими предсказаниями (PYTHIA, FRITIOF). Мы добавили данные для  $\Lambda_c^+$  (см. табл. 2).

В работе [15] в рамках статистической модели адронизации получены предсказания для выходов очарованных частиц при низких энергиях (см. рис. 12). Экспериментальные данные (табл. 2) и теоретические предсказания позволяют говорить

**Таблица 2.** Выходы очарованных частиц

Частица	РУТНИА <i>pp</i>	FRITIOF <i>pA</i>	СВД-2 <i>pA</i>	NA-27 [19]		HERA-B [20]
$D^0$				$0.57 \pm 0.08$		$0.44 \pm 0.18$
$\check{D}^0$	0.74	0.59	$0.65 \pm 0.31$	$0.43 \pm 0.09$		$0.54 \pm 0.23$
$D^+$	0.13	0.29	$0.16 \pm 0.07$	$0.31 \pm 0.06$		$0.19 \pm 0.08$
$D^-$	0.24	0.27	$0.27 \pm 0.17$	$0.34 \pm 0.06$		$0.25 \pm 0.11$
$\Lambda_c^+$	0.55	0.36	$0.56 \pm 0.27$	$0.52 \pm 0.35$ БИС-2 [10]	$0.42 \pm 0.13$ E-769 [21]	$0.18 \pm 0.01$ SELEX-2 [22]

об увеличении выхода  $\Lambda_c^+$ -барионов в околопороговой области энергий и с увеличением выхода в этой области энергий  $\check{D}$ -мезонов указывают на преимущественно парное рождение  $\Lambda_c^+$  и  $\check{D}$  у порога рождения очарованных частиц.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После моделирования (FRITIOF + GEANT) и оптимизации критериев отбора в массовом спектре системы ( $pK^-\pi^+$ ) выделен сигнал от распада  $\Lambda_c^+$ -бариона:  $N_s = 21.6$  событий. Эффективность регистрации  $\varepsilon = 0.0112 \pm 0.0002$  (1.1%).

2. Измерено сечение образования  $\Lambda_c^+$ -бариона в околопороговой области ( $\sqrt{s} = 11.8$  ГэВ):  $\sigma_\Lambda = 4.0 \pm 1.6$  мкбн/нуклон, что выше предсказаний КХД.

3. Полученная  $A$ -зависимость сечения ( $\alpha = 0.9 \pm 0.2$ ) и измеренное время жизни ( $c\tau = 65 \pm 15$  мкм) подтверждают реальность наблюдаемых  $\Lambda_c^+$ -барионов. Измеренный выход  $\Lambda_c^+$ -барионов составил  $0.56 \pm 0.27$ , что указывает на его рост при околопороговых энергиях.

### 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. Н. Рядовиков (от имени Сотрудн. СВД-2), ЯФ **77**, 756 (2014) [Phys. Atom. Nucl. **77**, 716 (2014)]; <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2013/ps/2013-9.pdf>; <http://arxiv.org/abs/1311.1960>
6. В. В. Авдейчиков и др., ПТЭ, № 1, 14 (2013) [Instrum. Exp. Tech. **56**, 9 (2013)].
7. А. А. Киряков и др., Препринт № 2005-45, ИФВЭ (Протвино, 2005); <http://web.ihep.su/library/pubs/prep2005/ps/2005-45.pdf>
8. H. Pi, Comput. Phys. Comm. **71**, 173 (1992).
9. GEANT 3.21, CERN Program Library Long Wwriteup W5013.
10. A. N. Aleev *et al.*, Z. Phys. C **23**, 333 (1984); Е. Н. Чудаков, Дис. ... канд. физ.-мат. наук, ОИЯИ (Дубна, 1987); Препринт № 1-87-183, ОИЯИ (Дубна, 1987).
11. R. Bailey *et al.*, Nucl. Phys. B **239**, 15 (1984).
12. G. A. Alves *et al.* (E769 Collab.), Phys. Rev. Lett. **77**, 2388, 2392 (1996).
13. T. Aziz *et al.*, Nucl. Phys. B **199**, 424 (1982).
14. M. Basile *et al.*, Lett. Nuovo Cimento **30**, 481, 487 (1981); F. Muller, in *Proceedings of the IV Warsaw Symposium on Elementary Particle Physics, Kazimierz, Poland, May 1981* (Warszawa, 1981), p. 141; G. Bari *et al.*, Nuovo Cimento A **104**, 571 (1991).
15. A. Andronic *et al.*, Phys. Lett. B **659**, 149 (2008); <http://arxiv.org/abs/0708.1488>
16. А. Н. Алеев и др., ЯФ **56** (9), 147 (1993) [Phys. Atom. Nucl. **56**, 1235 (1993)].
17. В. В. Аммосов и др., ЯФ **53**, 999 (1991) [Sov. J. Nucl. Phys. **53**, 617 (1991)].
18. A. E. Asratyan *et al.*, Phys. Lett. B **79**, 497 (1978).
19. LEBC-ENC Collab., Phys. Lett. B **189**, 476 (1987).
20. I. Abt *et al.*, Eur. Phys. J. C **52**, 531 (2007); <http://arxiv.org/abs/0708.1443v1>
21. J. Engelfried, [www.ifisica.uaslp.mx/~jurgen/public/dpc99-talk.ps.gz](http://www.ifisica.uaslp.mx/~jurgen/public/dpc99-talk.ps.gz)
22. F. G. Garcia *et al.* (SELEX Collab.), Phys. Lett. B **528**, 49 (2002); hep-ex/0109017.

## ESTIMATION CROSS SECTION OF $\Lambda_c^+$ -BARYONS PRODUCTION IN $pA$ INTERACTIONS AT 70 GeV

**V. N. Ryadovikov**  
(On behalf of the SVD-2 Collaboration\*\*)

The results of data handling for SERP-E-184 experiment received with 70-GeV proton beam irradiation of active target with carbon, silicon, and lead plates are presented. Event selection criteria and detection efficiency were obtained with detail modeling using FRITIOF7.02 and GEANT3.21 programs. Three-prong  $\Lambda_c^+$ -baryon decay signal has been obtained and charm baryon production inclusive cross section estimated at near-threshold energy. Their lifetimes and  $A$  dependence of the cross section were measured. The comparison with other experimental data has been made.

---

\*\*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, I. N. Erofeeva, 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, 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. L. 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.