



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2015–6

Сотрудничество СВД-2

Е.Н. Ардашев, А.Г. Афонин, М.Ю. Боголюбский, А.П. Воробьев, С.Н. Головня,
С.А. Горохов, В.Ф. Головкин, В.Н. Запольский, А.А. Киряков, Л.Л. Курчанинов,
Г.Я. Митрофанов, В.С. Петров, А.В. Плескач, В.М. Роньжин, В.Н. Рядовилов,
В.А. Сенько, Н.А. Шаланда, М.М. Солдатов, А.Г. Холоденко,
Ю.П. Цюпа, В.И. Якимчук

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино

С.Г. Базиладзе, С.Ф. Бережнев, Г.А. Богданова, А.М. Вишневская, В.Ю. Волков,
А.Г. Воронин, Г.Г. Ермаков, П.Ф. Ермолов, И.Н. Ерофеева, Н.И. Гришин,
Я.В. Гришкевич, Е.Г. Зверев, Д.Е. Карманов, В.Н. Крамаренко, А.В. Кубаровский,
А.К. Лефлат, М.М. Меркин, В.В. Попов, Л.А. Тихонова

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва*

А.Н. Алеев, В.П. Баландин, В.И. Киреев, Н.А. Кузьмин,
Г.И. Ланщиков, Ю.П. Петухов, Н.Ф. Фурманец, А.И. Юкаев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

**Измерение сечения образования очарованных
барионов в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ**

Направлено в ЯФ

Протвино 2015

Аннотация

Ардашев Е.Н. и др. Измерение сечения образования очарованных барионов в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ: Препринт ИФВЭ 2015-6. – Протвино, 2015. – 16 с., 12 рис., 2 табл., библиогр.: 20.

Приведены результаты обработки данных эксперимента SERP-E-184 «Изучение механизмов образования очарованных частиц в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ и их распадов» [1], полученные при облучении активной мишени установки СВД-2, состоящей из пластинок углерода, кремния и свинца, пучком протонов 70 ГэВ. В результате детального моделирования с помощью программ FRITIOF7.02 и GEANT3.21 были оптимизированы критерии отбора событий и вычислена эффективность регистрации Λ_c^+ -бариона. После выделения сигнала от трехчастичного распада Λ_c^+ -бариона измерено инклюзивное сечение его образования при околороговой энергии, время жизни и параметр A -зависимости сечения. Приведена таблица выходов и их отношений для Λ_c^+ -бариона в сравнении с данными других экспериментов и теоретическими предсказаниями.

Abstract

Ardashev E. et al. Estimation cross section of Λ_c^+ -baryons production in pA -interactions at 70 GeV: IHEP Preprint 2015-6. – Protvino, 2015. – p. 16, figs. 12, tables 2, refs.: 20.

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-prongs Λ_c^+ -baryons decays signal has been obtained and charm baryons production inclusive cross section estimated at near threshold energy. Their lifetimes and A -dependence of cross section were measured. The comparison with others experimental data have been made.

Введение

В работе исследовано образование очарованных Λ_c^+ -барионов в pA -взаимодействиях при импульсе пучка протонов 70 ГэВ/с на трёх ядерных мишенях – углерод, кремний и свинец в эксперименте 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 Λ_c^+ -частиц. Обнаруженное в работе [5] увеличение относительных выходов \check{D} -мезонов с уменьшением энергии взаимодействия, может служить указанием, что такой же тенденцией должны обладать выходы очарованных барионов Λ_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 Λ_c^+ -барионов

Процедуры первичного отбора событий в настоящей работе были аналогичны процедурам, использованным в работе [5]. Но в данном случае они усилены по критерию ассоциации вторичной вершины с первичной вершиной, в связи с малой длиной пробега Λ_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. Из-за отсутствия в эксперименте идентификации типа частиц в каждом событии с трёхлучевой вторичной вершиной имеются две гипотезы на формирование Λ_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/ c^2 , среднеквадратичное отклонение 13.4 МэВ/ c^2 , сигнал 56.4 ± 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 трёхлучевых вершин, в основном из-за наложения заряженных треков из первичной вершины на вершину распада K_s^0 -мезона. Для построения распределений физических величин для Λ_c^+ -барионов и подтверждения регистрации Λ_c^+ -частиц необходимо уменьшить фоновую

подложку и выполнить разделение гипотез, используя для этого критерии отбора, полученные в результате моделирования методом Монте-Карло (МК).

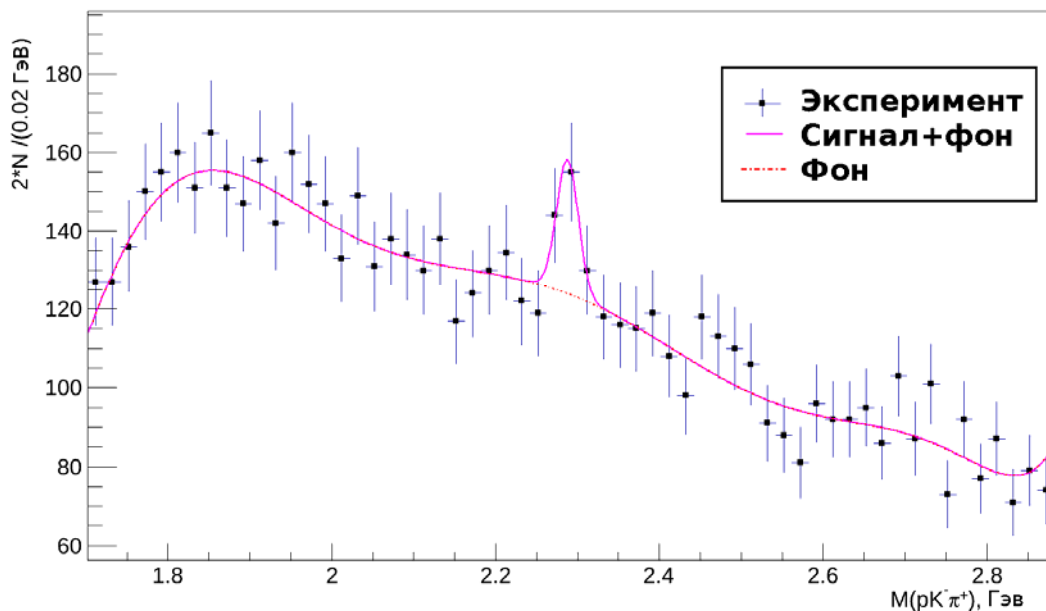


Рис. 1. Спектр эффективных масс системы ($pK^- \pi^+$) (две гипотезы) после первичного отбора событий с трёхлучевыми вторичными вершинами.

Моделирование регистрации Λ_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 Λ_c^+ -барионов в экспериментальной установке использовалась программа GEANT3.21 [9], где выполнялся распад Λ_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 МК-событий: эффективная масса $M(pK^- \pi^+)$, импульс (P), переменная Фейнмана (x_F) и приведённая длина пробега

($L_{пр} = L \times M/P$). Рис. 2 показывает, что распределения по импульсу системы ($pK^- \pi^+$), x_F и приведённой длине пробега для экспериментальных событий совпадают с распределениями для МК-событий.

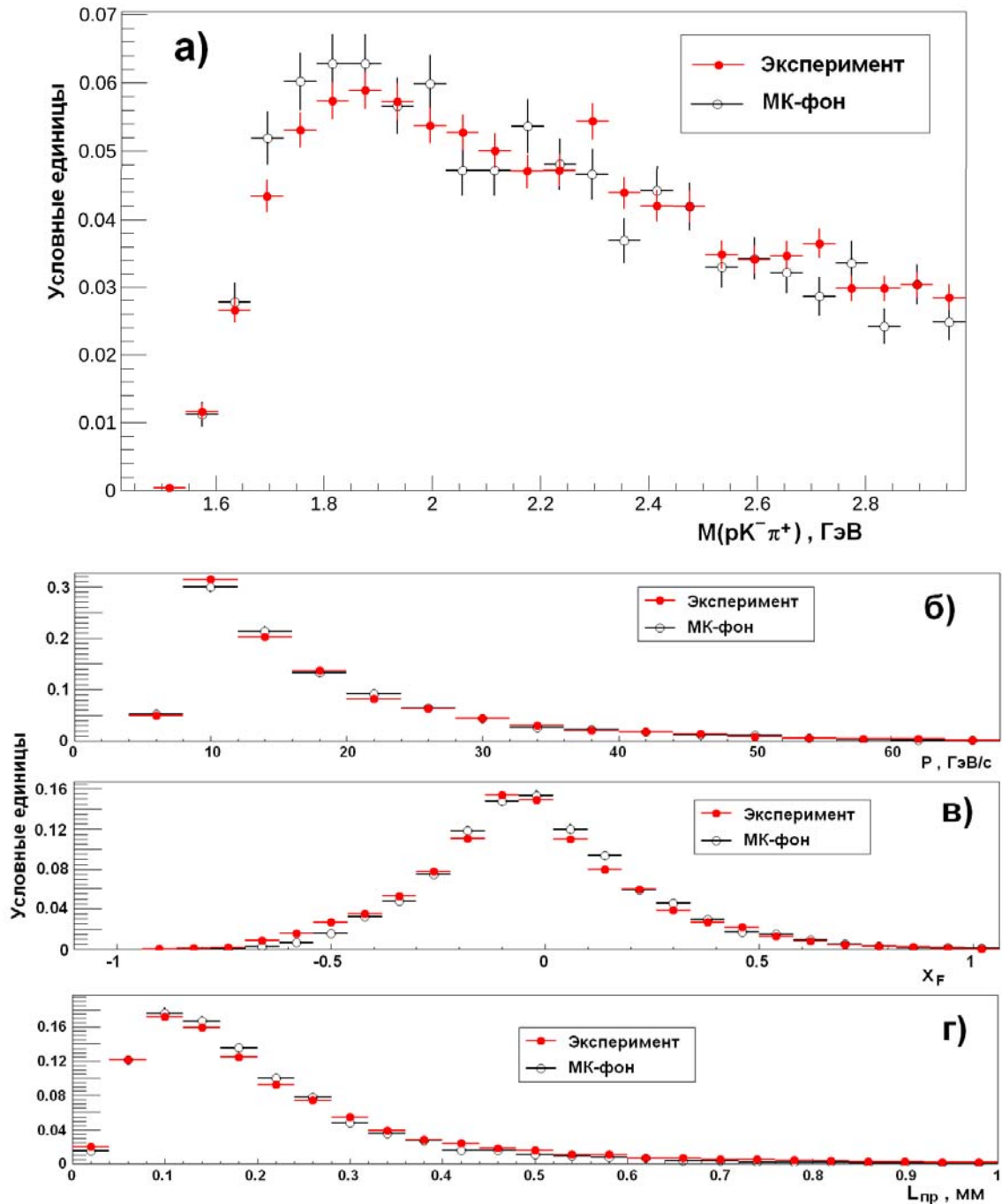


Рис. 2. а) Эффективная масса $M(pK^- \pi^+)$, б) импульс (P), в) x_F и г) приведённая длина пробега ($L_{пр}$) для экспериментальных событий после первичного отбора и фоновых МК-событий.

Для оптимизации критериев отбора событий с Λ_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 Λ_c^+ -барионами для частицы с положительным зарядом рассматривались обе гипотезы p/π^+ , как в реальном эксперименте. Количество моделируемых событий, в которых обе гипотезы попадают в пик Λ_c^+ -частиц составляет $\sim 5\%$.

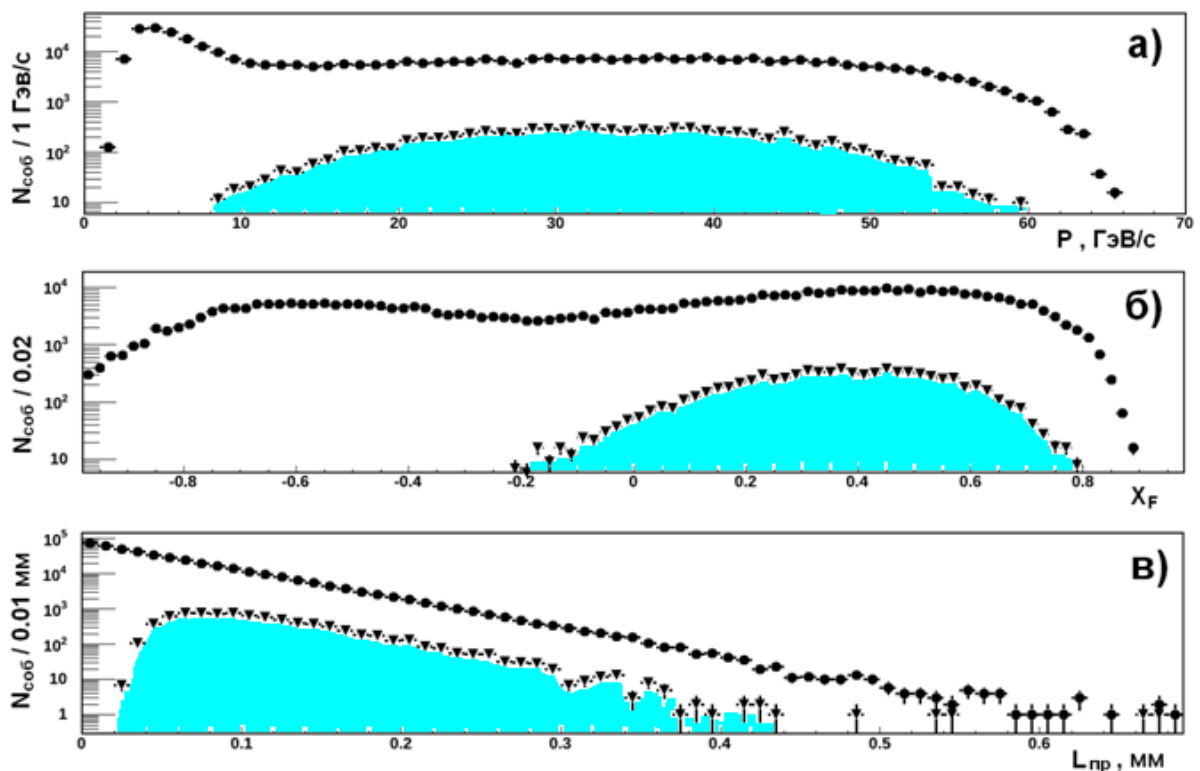


Рис. 3. Распределения по: а) - импульсу, б) - x_F и в) - приведённой длине пробега, системы ($\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$) для МК-событий с Λ_c^+ -барионами до (точки) и после (треугольники) их обработки по программе GEANT и программе реконструкции с использованием предварительных критериев отбора.

Критерии отбора для выделения распадов Λ_c^+ -барионов

а) Диаграмма Далитца. Выделение фазового пространства распада Λ_c^+ -барионов

Для уменьшения фона в экспериментальном распределении эффективных масс системы ($pK^-\pi^+$) был выполнен анализ фазового пространства, соответствующего

данному трёхчастичному распаду. Для этого использовалась диаграмма Далица системы в координатах $m_1(K^- \pi^+)$ и $m_2(K^- p)$. На рис. 4 приведена контурная диаграмма Далица, полученная для МК-событий с распадом $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$.

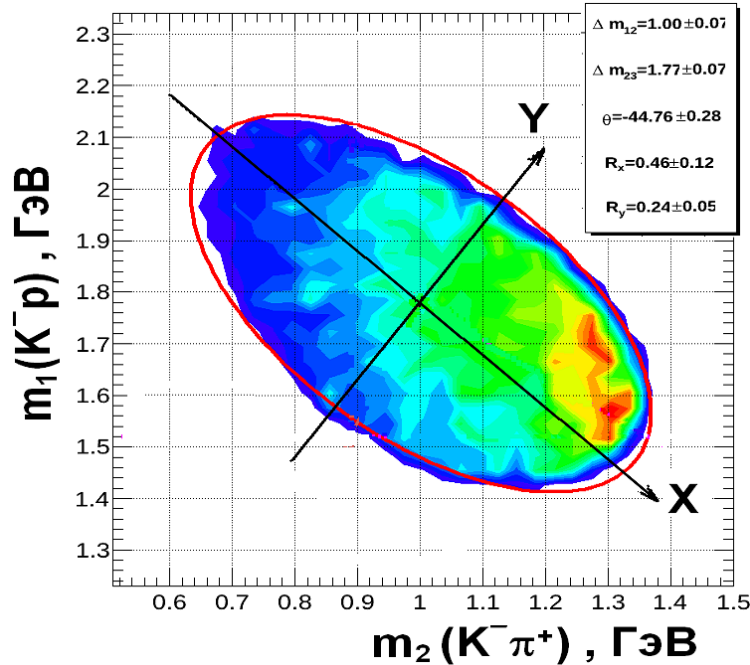


Рис. 4. Контурная диаграмма Далица для МК-событий с распадом $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$.

Граница контурной диаграммы Далица для МК-событий аппроксимировалась эллипсом с параметрами:

$$R_{\text{ell}} = X^2/R_x^2 + Y^2/R_y^2 = 1, \quad \text{где:}$$

$$X = (m_1 - 1) \cdot \cos(-44.76^\circ) + (m_2 - 1.78) \cdot \sin(-44.76^\circ),$$

$$Y = (m_2 - 1.78) \cdot \cos(-44.76^\circ) - (m_1 - 1) \cdot \sin(-44.76^\circ),$$

$$R_x = 0.46, R_y = 0.24 - \text{полуоси эллипса.}$$

Эти параметры используются для ограничения области фазового пространства экспериментальных 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_{ell} не 1 (соответствующая точной границе диаграммы Далица), а 1.1, что является смягчением данного критерия. Так как на каждое событие имеются две гипотезы для Λ_c^+ , то критерий (1) применяется для каждой гипотезы отдельно, при этом гипотеза, не

удовлетворяющая данному критерию, принимается как ложная и исключается из дальнейшего рассмотрения.

б) Критерий отбора для исключения ложных вершин

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

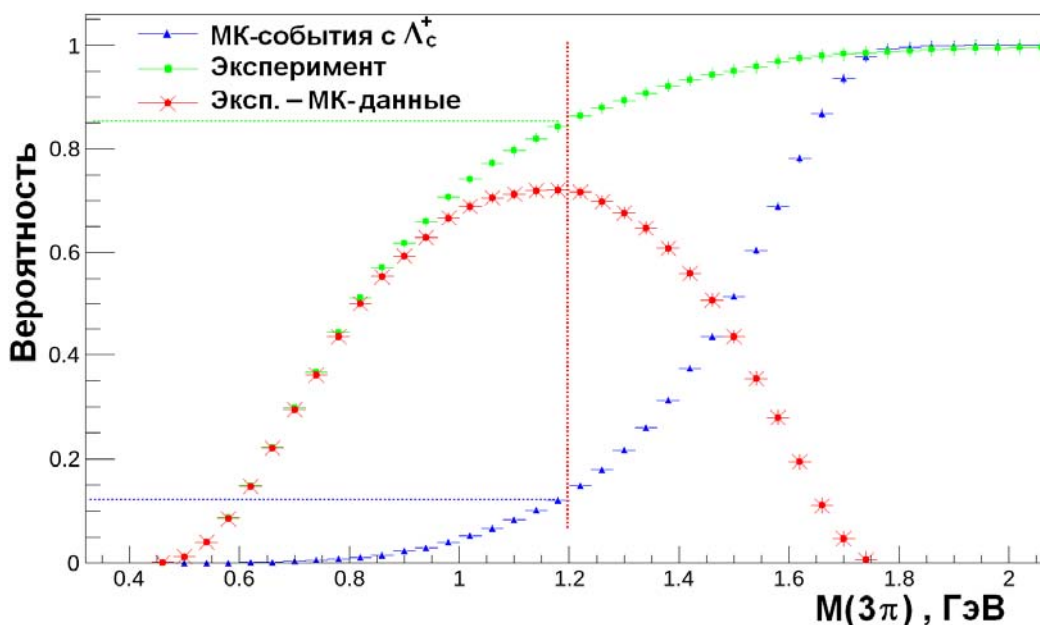


Рис. 5. Интегральные плотности распределения вероятностей событий в зависимости от эффективной массы системы (3π).

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

в) Критерий отбора по импульсу Λ_c^+ -барионов

Ещё один критерий отбора был выбран из анализа распределений по импульсам Λ_c^+ -барионов. На рис. 6 приведены интегральные плотности распределения вероятностей для МК-событий с Λ_c^+ и экспериментальных событий после применения

вышеприведённых критериев а) и б). По разности интегральных плотностей (обозначение * на рис. 6) было оптимизировано обрезание по импульсу трехчастичной системы ($25 < P < 60$ ГэВ/с).

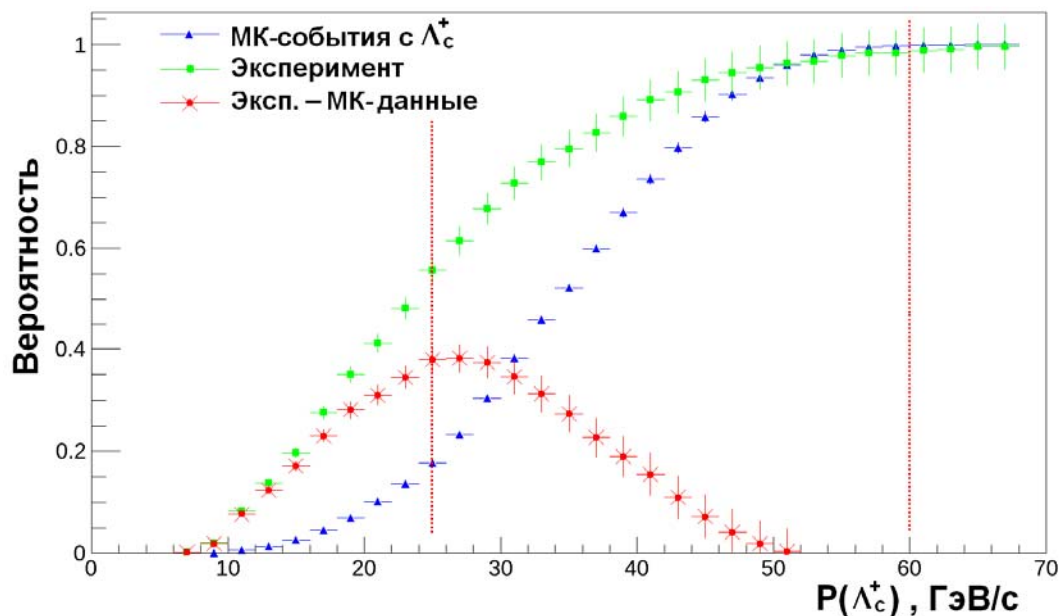


Рис. 6. Интегральные плотности распределения вероятностей событий в зависимости от импульса системы ($pK\pi^+$).

Результат применения критериев отбора показан на рис. 7. После параметризации спектра функцией Гаусса и полиномом получены параметры сигнала от Λ_c^+ -барионов: $\chi^2/\text{ndf}=12.7/33$, масса 2287 ± 4 МэВ/с², среднеквадратичное отклонение 13.1 МэВ/с², оценка величины сигнала: 21.6 ± 6.0 событий. При построении спектра применялась следующая процедура разделения гипотез:

1. если после применения критериев а) – в) остается одна гипотеза для Λ_c^+ , то она вносится в гистограмму с весом 1;
2. если после применения критериев а) – в) остаются обе гипотезы, то:
 - если обе гипотезы попадают в интервал масс Λ_c^+ , то 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 Λ_c^+ -бариона составило 5% от общего числа МК-событий, удовлетворяющих всем критериям отбора.

Для экспериментальной выборки это должно быть ~ 1 событие, но такового не оказалось.

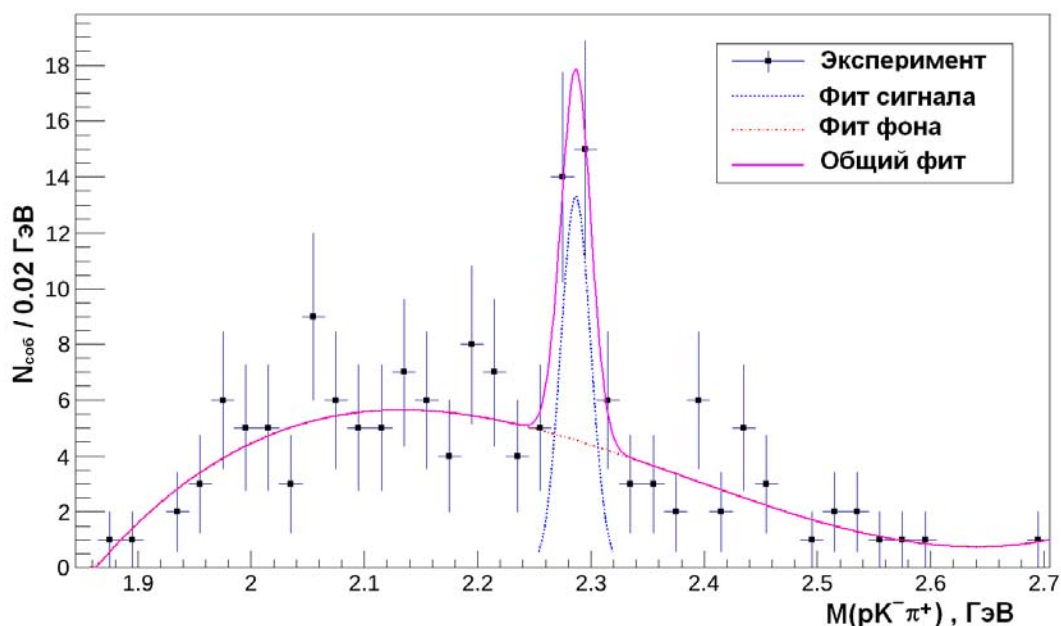


Рис. 7. Спектр эффективных масс системы $(pK^- \pi^+)$ для экспериментальных событий после использования всех критериев отбора.

Сечение рождения Λ_c^+ -барионов

Для расчета сечения рождения Λ_c^+ -барионов использовалась формула

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

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);

σ_{Λ} – сечение образования очарованных частиц;

A_i – атомный вес материала мишени;

α – показатель степени A -зависимости сечения образования очарованных частиц
 (= 0.7 для сечения неупругих pA -взаимодействий);

σ_{pp} – сечение неупругих pp -взаимодействий при энергии 70 ГэВ (= 31440 мкбн);

B – брэнчинг распада $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ (= 0.05 ± 0.013);

ε – эффективность регистрации Λ_c^+ (= 0.0112 ± 0.0002);

$K_{tr} = 0.57 \pm 0.03$ (коэффициент триггирования [5]).

Таблица 1. Значения параметров для вычисления сечений.

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

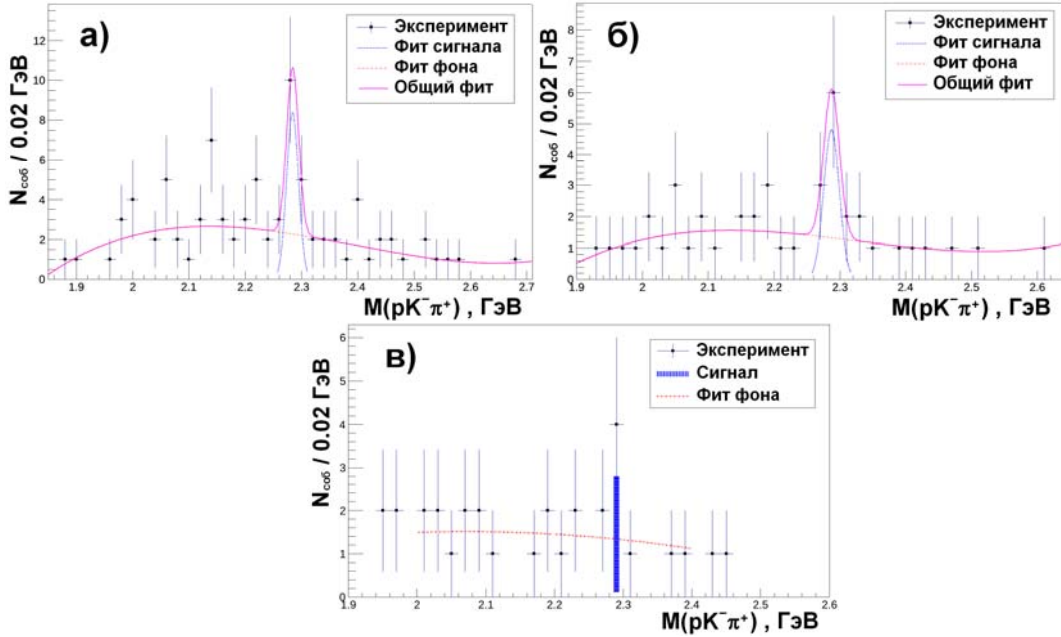


Рис. 8. Экспериментальные спектры эффективных масс системы $(pK^- \pi^+)$ для трёх материалов мишеней: а) Si, б) Pb, в) C (сигнал оценен по числу событий над фитированным фоном).

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

$$N_{si} = C_i \times \sigma_{\Lambda} \times A_i^{\alpha}, \quad \text{или}$$

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

Фитируя зависимость $\ln(N_{si} / C_i)$ от $\ln(A_i)$ линейной функцией были определены параметр A -зависимости $\alpha=0.9 \pm 0.2$ и сечение рождения Λ_c^+ во всей кинематической области $\sigma_{\Lambda} = 5.5 \pm 1.7$ мкбн/нуклон (рис. 9). Значение параметра α зависит от переменной Фейнмана, поэтому отличие полученного значения от 1 можно объяснить тем, что в нашем случае Λ_c^+ регистрируется при больших значениях x_F . Если зафиксировать параметр $\alpha = 1.0$, то получим сечение рождения Λ_c^+ -барионов $\sigma_{\Lambda} = 4.0 \pm 1.6$ мкбн/нуклон

для всей области x_F . Определённое таким же способом сечение рождения Λ_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 Λ_c^+ -барионов при этом равна $\varepsilon = 0.0184 \pm 0.0003$.

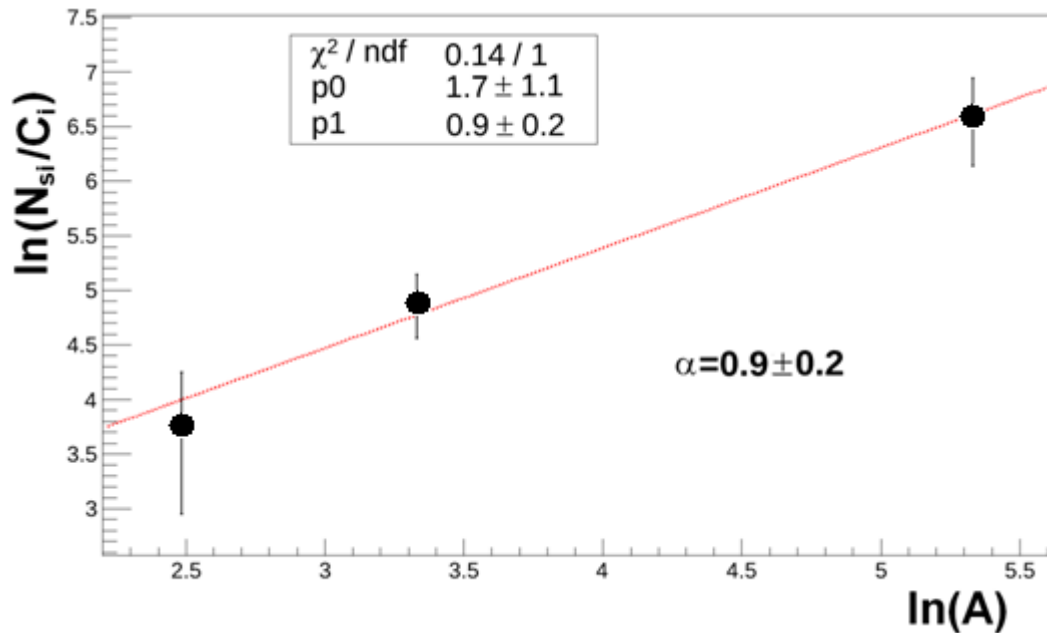


Рис. 9. A -зависимость сечения образования Λ_c^+ -барионов.

Систематические ошибки в измеренном значении сечения σ_Λ , обусловленные неточностью определения эффективности регистрации и коэффициента триггирования, составляют 20% от статистических ошибок.

Время жизни Λ_c^+ -барионов

В качестве проверки выборки событий с распадом Λ_c^+ -барионов было измерено их время жизни методом интервалов, который подробно описан в работе [5]. В результате использования этого метода было восстановлено распределение по приведённой длине пробега Λ_c^+ -барионов с учётом эффективности их регистрации, которое представлено на рис. 10. Измеренное значение параметра $c\tau$ составило $c\tau = 65 \pm 15$ мкм (ошибка статистическая) и близко к данным PDG ($c\tau = 59.9$ мкм) в пределах ошибки. Оно указывает на тот факт, что мы действительно регистрируем

распады Λ_c^+ -барионов. Значение σ для фоновых событий значительно отличается от этой величины.

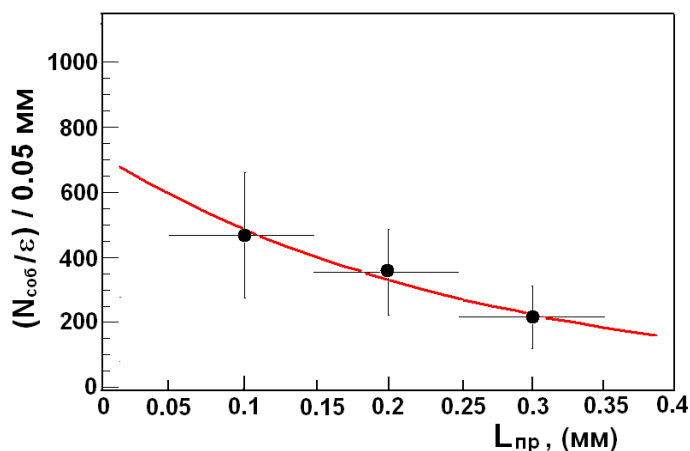


Рис. 10. Восстановленное распределение по $L_{\text{пр}}$ с учетом эффективности регистрации.

Выход очарованного бариона

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

$$\sigma_{\text{сч}} = (\sigma_{D^+} + \sigma_{D^0} + \sigma_{D^-} + \sigma_{D_s^0} + \sigma_{\Lambda_c}) / 2 = (1.2 + 2.5 + 1.9 + 4.6 + 4.0) / 2 = 7.1 \text{ (мкбн/нуклон)}.$$

В значении сечения имеется небольшая ($\sim 10\%$) неопределенность, связанная с незнанием сечения рождения D_s -мезонов. Т.о., выход Λ_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 Λ_c^+ -барионов приводятся (как правило) без оценок полного сечения образования чарма. Например, в работах [10–14] приводятся экспериментальные данные, которые изображены на рис. 11а. А на рис. 11б приведены данные по полным сечениям образования чарма в pA -взаимодействиях [18] с добавлением значений, полученных в экспериментах ИФВЭ (СВД, БИС-2, СКАТ). Видно, что большинство сечений на рис. 11а превышают

значения сечений на рис.11б, т.е. очень завышены и оценить выход Λ_c^+ -барионов в отличных от нашей областях энергий, используя эти графики, невозможно.

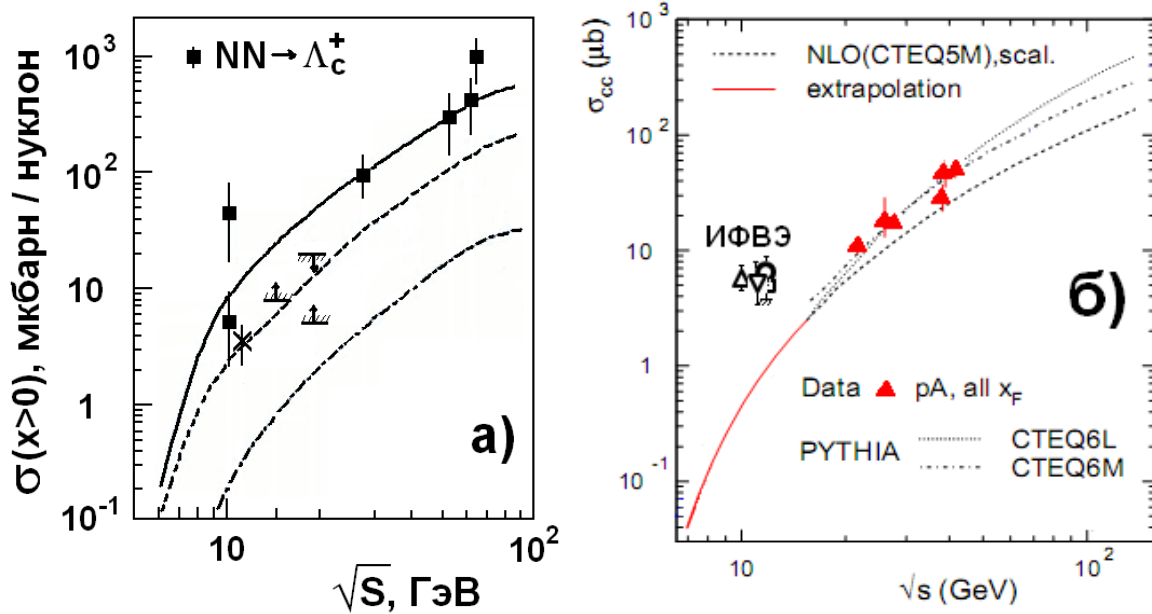


Рис. 11. а) Сечения рождения Λ_c^+ -барионов для области $x_F > 0$. Экспериментальные данные взяты из работ [10–14], сечение из данной работы обозначено знаком X. Теоретические кривые из работы [10]: сплошная линия – для периферической модели, пунктирные линии – для двух вариантов модели КХД. б) Полные сечения образования чарма в pA -взаимодействиях [18].

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 Λ_c^+ (см. табл. 2).

Таблица 2. Выходы очарованных частиц.

Выход \ Частица	PYTHIA pp-вз.	FRITIOF pA-вз.	СВД-2 pA-вз.	Другие эксперименты		
				NA-27 [8]	HERA-B [9]	
D^0	0.28	0.51	0.35 ± 0.16	0.57 ± 0.08	0.44 ± 0.18	
\bar{D}^0	0.74	0.59	0.65 ± 0.31	0.43 ± 0.09	0.54 ± 0.23	
D^+	0.13	0.29	0.16 ± 0.07	0.31 ± 0.06	0.19 ± 0.08	
D^-	0.24	0.27	0.27 ± 0.17	0.34 ± 0.06	0.25 ± 0.11	
Λ_c^+	0.55	0.36	0.56 ± 0.27	0.52 ± 0.35 БИС-2[10]	0.42 ± 0.13 E-769[19]	0.18 ± 0.01 SELEX-2[20]

В работе [18] 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 об увеличении выхода Λ_c^+ -барионов в околопороговой области энергий и с увеличением выхода в этой области энергий \check{D} -мезонов указывают на их преимущественно парное рождение у порога рождения очарованных частиц.

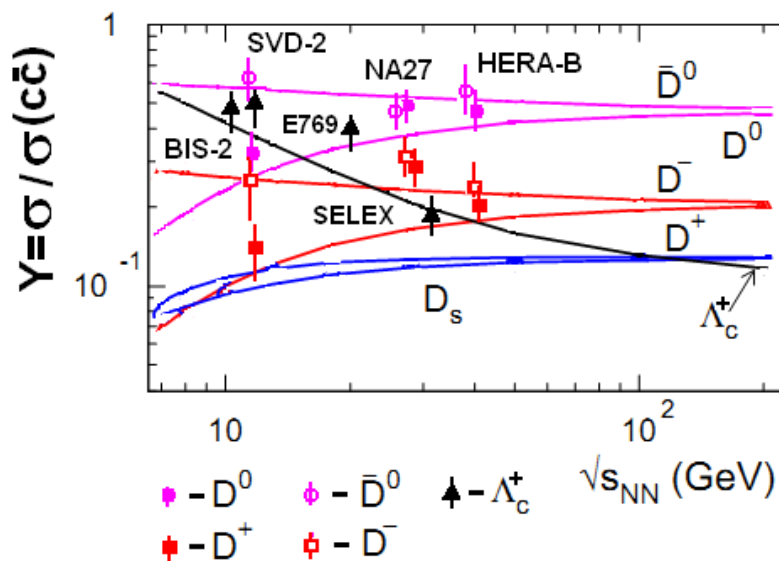


Рис. 12. Выходы очарованных частиц. Экспериментальные точки из табл. 2, теоретические кривые - из работы [18].

Заключение

1. После моделирования (FRITIOF+GEANT) и оптимизации критериев отбора в массовом спектре системы $(pK^-\pi^+)$ выделен сигнал от распада Λ_c^+ -бариона: $N_s=21.6$ событий. Эффективность регистрации $\epsilon=0.0112 \pm 0.0002$ (1.1%).
2. Измерено сечение образования Λ_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 Λ_c^+ -барионов.
4. Измеренный выход Λ_c^+ -барионов составил 0.56 ± 0.27 , что указывает на его рост при околопороговых энергиях.

Список литературы

- [1] Е. Н. Ардашев и др. Препринт ИФВЭ 96-98, Протвино, 1996.
<http://web.ihep.su/library/pubs/prep1996/ps/96-98.pdf>
- [2] А. П. Воробьев и др. Препринт ИФВЭ 2008-17, Протвино, 2008.
<http://web.ihep.su/library/pubs/prep2008/ps/2008-17.pdf>
- [3] Е. Н. Ардашев и др. ЯФ, 2010, т. 73, № 9, с. 1585-1596.
<http://web.ihep.su/library/pubs/prep2009/ps/2009-09.pdf>
<http://arxiv.org/abs/1004.3676>
- [4] В. Н. Рядовиков (от имени Сотрудничества СВД-2). ЯФ, 2011, т. 74, № 2, с. 342–349.
<http://web.ihep.su/library/pubs/prep2010/ps/2010-2.pdf>
<http://arxiv.org/abs/1106.1563>
- [5] Е.Н. Ардашев и др. ЯФ, 2014, т. 77, № 6, с. 756-764.
- [6] В. В. Авдейчиков и др. ПТЭ, 2013, № 1, с. 14–37.
- [7] А. А. Киряков и др. Препринт ИФВЭ 2005-45, Протвино, 2005.
- [8] B. Pi, *Computer Phys. Comm.* 71,173 (1992).
- [9] GEANT 3.21, CERN Program Library Long Writeup W5013.
- [10] A. N. Aleev et al., Collaboration BIS-2, *Z.Phys. C – Particle and Fields* 23, p. 333-338 (1984);
Е. Н. Чудаков Кандидатская диссертация. «Исследование рождения очарованных барионов Λ_c^+ в $n\bar{c}$ – взаимодействиях при энергии нейтронов 40-70 ГэВ», Автореферат Препринт ОИЯИ 1-87-183, Дубна 1987.
- [11] Bailay R. et al., *Nucl.Phys.* B239 (1984) p. 15.
- [12] G. A. Alves et al., E769 collaboration *Phys.Rev.Lett.* 77, 2388 and 2392 (1996).
- [13] T. Aziz et al., *Nucl.Phys.* B199 (1982) p.424.
- [14] M. Basile et al., *Lett. Nuovo Cimento* 30, p.487. (1981);
M. Basile et al., *Lett. Nuovo Cimento* 30, p.481. (1981);
F. Muller, *Proceedings of IV Warsaw Symposium*, 1981;
G. Bari et al., *Nuovo Cimento* A104 (1991) p. 571.
- [15] C. Lourenco, H.K. Wohri, *Physics Reports*, v433.no3, p. 127–180, October 2006.

- [16] Кайдалов А. Б. , Пискунова О. И., Ядерная Физика т. 43, вып. 6, с. 1545-1552, 1986.
- [17] A. M. Gasparyan, V. Yu. Grishina et al., Exclusive and semi-inclusive strangeness and charm production in πN and NN reactions, arXiv: nucl-th/0210018 v1, 7 oct. 2002
- [18] A. Andronic, P. Braun-Munzinger, K. Redlich, J. Stachel, Phys. Lett. B 659(2008) 149. <http://arxiv.org/abs/0708.1488>
- [19] J. Engelfried, www.ifisica.uaslp.mx/~jurgen/public/dpc99-talk.ps.gz , 1999.
- [20] F. G. Garcia et al., SELEX Collaboration, Hadronic Production of Λ_c from 600 GeV/c π^- , Σ^- , and p beams, Report Fermilab-Pub-01/258-E, Phys. Lett. B 528 (2002) 49 [arXiv: hep-ex/0109017v1(2001)]

Рукопись поступила 16 апреля 2015 г.

Е.Н. Ардашев и др.

Измерение сечения образования очарованных барионов в pA-взаимодействиях при 70 ГэВ.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 29.04.2015. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.

Печ.л. 1,25. Уч.– изд.л. 1,73. Тираж 100. Заказ 8. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2015-6,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2015
