

На правах рукописи

Тарасов Виктор Викторович

**ОБРАЗОВАНИЕ АДРОНОВ,
СОДЕРЖАЩИХ СТРАННЫЕ КВАРКИ,
В Σ -А -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SELEX**

Специальность 01.04.16 – Физика атомного ядра
и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2010г.

УДК 539.12

Работа выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», г. Москва

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Поносов А.К. (НИЯУ МИФИ, г. Москва).

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор Мадигожин Д.Т. (Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ, г. Дубна), кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика элементарных частиц» Чернышев Б.А. (НИЯУ МИФИ, г. Москва)

Ведущая организация: НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова (НИИЯФ МГУ)

Защита диссертации состоится “17” ноября 2010 г. в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.130.07 НИЯУ МИФИ по адресу: 115409, Москва, Каширское ш., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИЯУ МИФИ.

Автореферат разослан “15” октября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор физ.-мат. наук, профессор

_____ С.Е. Улин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Возбуждённые состояния гиперонов со странностью -1 , -2 , -3 плохо изучены. Кварковая модель предсказывает существенно больше возбуждённых состояний, чем наблюдается в экспериментах в настоящее время.

Среди странных барионов в таблицах элементарных частиц (PDG) представлены 13 Λ^* , 9 Σ^* и 5 Ξ^* резонансов, классифицируемых как известные (3 или 4 звезды). В частности, из всех Σ^* -гиперонов почти все известные состояния с массой более $1385 \text{ МэВ}/c^2$ определялись только с помощью парциально-волнового анализа, с сильно различающимися оценками значений массы и ширины. До сих пор существуют лишь две работы по прямому наблюдению в спектре эффективных масс Σ^* с массой более $1385 \text{ МэВ}/c^2$ и Λ^* с массой более $1520 \text{ МэВ}/c^2$.

Знания о выходе странных частиц важны для диагностики нового состояния материи – кварк-глюонной плазмы. Кроме того, в последнее время в связи с поисками пентакварков возрос интерес к системе, состоящей из нуклона и К-мезона.

Цель диссертации состоит в

1. Исследовании рождения высоковозбуждённых гиперонных состояний на установке SELEX ускорителя Тэватрон в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow p + K^- + X$ при начальном импульсе Σ^- -пучка $600 \text{ ГэВ}/c$.
2. Исследовании рождения мезонов со скрытой странностью в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow K^+ + K^- + X$ при начальном импульсе Σ^- -пучка $600 \text{ ГэВ}/c$.
3. Измерении масс, ширин и относительных выходов высоковозбуждённых гиперонных состояний и мезонов со скрытой странностью.

Научная новизна

В настоящее время проводятся два эксперимента на Σ^- -гиперонных пучках в ЦЕРНе и во FNAL, которые позволяют исследовать возбуждённые гиперонные состояния с различной странностью. В диссертации получены новые экспериментальные данные, которые дают возможность более глубокого понимания физики образования возбуждённых состояний гиперонов и мезонов, содержащих странные кварки, изучения их свойств и характеристик, механизмов распада.

В диссертации представлены результаты эксперимента SELEX по рождению состояний, содержащих странные кварки, с массами 1520, 1670, 1820 и 2100 МэВ/с² в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow p + K^- + X$ и массами 1020 и 1525 МэВ/с² в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow K^+ + K^- + X$ при начальном импульсе пучка 600 ГэВ/с. Измеренные параметры гиперонных состояний и мезонов со скрытой странностью имеют наибольшую статистическую обеспеченность среди аналогичных данных, представленных в PDG.

Проведены более точные измерения масс, ширин и относительных выходов этих состояний. Впервые было показано, что в спектре эффективных масс системы pK^- имеется состояние с массой 2100 МэВ/с².

На гиперонном пучке впервые измерены относительные выходы гиперонных состояний со странностью -1, а также мезонов со скрытой странностью. Выход состояния с массой 1670 МэВ/с² относительно $\Lambda(1520)$ в канале распада pK^- составил $(24,92 \pm 0,45 \pm 0,48)\%$, состояния с массой 1820 МэВ/с² относительно $\Lambda(1520)$ в канале распада pK^- - $(16,13 \pm 0,38 \pm 0,45)\%$. Выход состояния $f_2'(1525)$ относительно $\phi^0(1020)$ составил $(10,75 \pm 0,25 \pm 0,45)\%$ в канале распада K^+K^- .

Практическая значимость работы

подавляющее большинство данных о высоковозбуждённых гиперонных состояниях, представленных в PDG, были получены с помощью метода фазового анализа. В диссертационной работе

представлены данные о рождении высоковозбуждённых гиперонных состояний и мезонов со скрытой странностью, основанные на анализе спектров эффективных масс систем pK^- и K^+K^- .

Сигнал в области $1520 \text{ МэВ}/c^2$ соответствует известному гиперонному состоянию $\Lambda(1520)$. Сигналы в области 1670 и $1820 \text{ МэВ}/c^2$ согласуются с результатами экспериментов WA89 и SPHINX (ИФВЭ). Сигналы с массами 1020 и $1525 \text{ МэВ}/c^2$ в системе K^+K^- однозначно идентифицируются как $\phi^0(1020)$ и $f_2'(1525)$ -мезоны, соответственно. Сигнал с массой $1520 \text{ МэВ}/c^2$ в спектре pK^- и сигнал с массой $1020 \text{ МэВ}/c^2$ в спектре K^+K^- использовались для калибровки – параметры этих сигналов согласуются с данными PDG.

Автор защищает

1. Оптимизацию критериев отбора протонов и заряженных каонов в эксперименте SELEX. Определение разрешения установки SELEX в спектре эффективных масс системы pK^- и в спектре эффективных масс системы K^+K^- .

2. Результаты анализа спектров эффективных масс системы pK^- при различных значениях фейнмановской переменной x_F . Определение масс, ширин и относительных выходов высоковозбуждённых гиперонных состояний с массами $1,67 \text{ ГэВ}/c^2$ и $1,82 \text{ ГэВ}/c^2$.

3. Результаты анализа спектров эффективных масс системы K^+K^- . Определение массы, ширины и относительного выхода мезона со скрытой странностью f_2' с массой $1,525 \text{ ГэВ}/c^2$.

Апробация работы

Все основные результаты данной диссертационной работы многократно обсуждались на рабочих совещаниях коллаборации SELEX во ФГУП "ГНЦ РФ - ИТЭФ", докладывались на научных сессиях НИЯУ МИФИ в 2006, 2007, 2008, 2009 и 2010 годах, а также были представлены на 59 международном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «ЯДРО 2009» (Чебоксары, Россия 15-19 июня 2009 г.) и опубликованы в работах [1-14].

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Объём диссертации: 99 страниц, в число которых входят 66 рисунков и 6 таблиц. Список литературы насчитывает 51 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обсуждается актуальность поставленной задачи, приведена её цель, показана научная новизна и практическая ценность.

В **первой главе** приведён обзор мировых данных по исследованию высоковозбуждённых гиперонных состояний и мезонов со скрытой странностью.

В таблицах элементарных частиц (PDG) представлены 27 гиперонных резонансов, классифицируемых как известные (3 или 4 звезды). Так, например, из всех Σ^* , почти все известные состояния с массой более $\Sigma(1385)$ наблюдались только с помощью парциально-волнового анализа, с сильно различающимися оценками значений массы и ширины. К настоящему времени существуют лишь две работы по прямому наблюдению Σ^* с массой более $\Sigma(1385)$ и Λ^* с массой более $\Lambda(1520)$ в спектре эффективных масс.

Коллаборация WA89 (WA89 Collaboration, Adamovich M.I., Alexandrov Yu. A., Baranov S.P. et al. // hep-ex/070244v1 27 Feb. 2007) наблюдала широкий резонанс в области $1660 \text{ МэВ}/c^2$ в спектре эффективных масс системы $\Lambda\pi^-$, сигнал с меньшей амплитудой в системе $\Lambda\pi^+$, а также сигналы в области $1765 \text{ МэВ}/c^2$ в системе pK_S^0 при больших значениях фейнмановской переменной ($x_F > 0,7$). В системе pK^- эта коллаборация наблюдала сигналы с массами 1520, 1670 и $1810 \text{ МэВ}/c^2$ (рис. 1). Все эти сигналы были образованы в инклюзивной реакции на медной и углеродной мишенях на Σ^- -пучке с импульсом $340 \text{ ГэВ}/c$.

Данные по резонансам в области 1520, 1670 и $1810 \text{ МэВ}/c^2$ в эксперименте WA89 в системе pK^- получены, как и в нашем эксперименте, на гиперонном Σ^- -пучке.

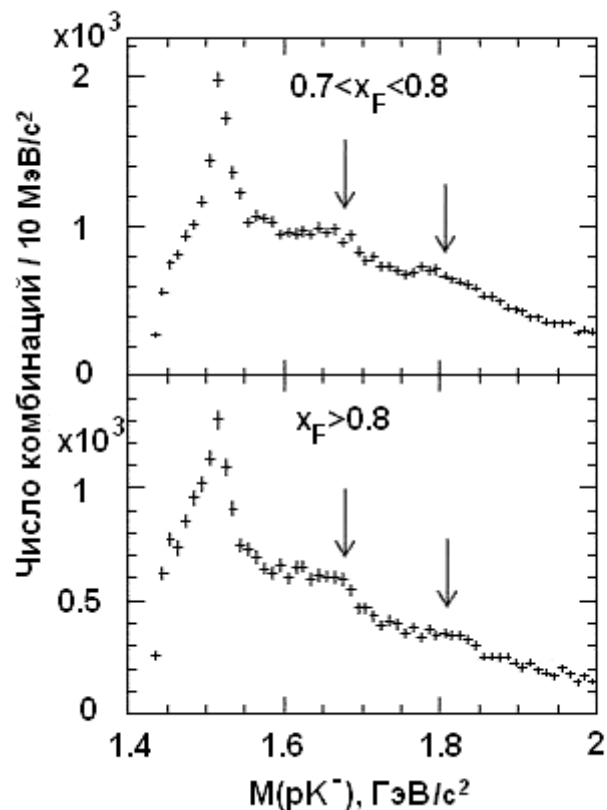


Рис. 1. Результаты работы Adamovich et al.(2007 г.) по наблюдению состояний с массами 1520, 1670 и 1810 МэВ/с², образующихся в инклюзивной реакции на Σ^- -пучке (эксперимент WA 89). Стрелками показаны положения сигналов в области 1670 и 1810 МэВ/с²

Вторая работа – это эксперимент СФИНКС (SPHINX Collaboration, Antipov Yu. M., Artamonov A.V., Batarin V.A. et al. // Eur. Phys. J. A. 2004. V. 21. P. 455.) на протонном пучке ускорителя У-70 ИФВЭ, где наблюдался сигнал $\Lambda(1520)$, а также сигналы с массами 1670 и 1810 МэВ/с² в системе pK^- в реакции $p + N \rightarrow p + K^- + K^+ + N$.

Таким образом, сигналы вблизи 1520, 1670 и 1810 МэВ/с² наблюдаются в экспериментах WA89 и SPHINX, однако параметры этих сигналов (массы и ширины) в этих работах определены не были.

Векторный $\phi^0(1020)$ -мезон является хорошо изученным состоянием (в PDG представлено более 150 работ по наблюдению

этого мезона со скрытой странностью). Менее известен тензорный $2^+ f_2'(1525)$ -мезон, который, как и $\phi^0(1020)$ -мезон, обладает скрытой странностью (кварковый состав $s\bar{s}$), статистическая обеспеченность мировых данных по этому состоянию не так велика. Большинство мировых данных о $f_2'(1525)$ -мезоне получены на пучках, не содержащих странный кварк – в таких экспериментах рождение $s\bar{s}$ состояний подавлено правилом Окубо-Цвейга-Иизуки (ОЦИ). Существует около 10 работ (преимущественно 70–80-х годов), где этот резонанс наблюдался на каонном пучке. Например, в работе по исследованию реакции $p + K^- \rightarrow K + \bar{K} + Y^*$ на пучке отрицательных частиц с импульсом 40 ГэВ/с ускорителя ИФВЭ наблюдался сигнал с массой 1504 ± 12 МэВ/с² и шириной 73 ± 18 МэВ/с².

На пучках, не содержащих странных кварков, существует множество экспериментов по наблюдению мезона $f_2(1525)$. В диссертации представлены результаты эксперимента BES II 2005 года по наблюдению мезона $f_2(1525)$ в реакции $e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \phi^0 + K^+ + K^-$ на встречных электрон-позитронных пучках в спектре эффективных масс системы $K^+ K^-$.

Во **второй главе** приведено описание установки SELEX.

Название SELEX является аббревиатурой от SEgmented Large X_F baryon spectrometer (или дословно: Многосекционный барионный спектрометр больших x_F). Основной задачей эксперимента SELEX являлось изучение свойств барионов, содержащих с-кварки, образующихся при взаимодействии гиперонов с ядрами на ускорителе Тэватрон. Набор данных происходил в течение 1996-97 г.г. в рамках Fermilab Fixed Target Program (Программа экспериментов на фиксированной мишени).

На рис. 2 представлена схема установки SELEX. Три дипольных магнита делят установку SELEX на 5 независимых спектрометров, называемых пучковый, вершинный, M1, M2, M3 соответственно. По отклонению треков в магнитном поле определялся импульс частиц. Для определения треков частиц использовались пропорциональные проволочные камеры (Proportional Wire Chambers или PWC), кремниевые детекторы (Silicon Detectors или SD) и векторные дрейфовые камеры (Vector Drift Chambers или VDC). С помощью кольцевого черенковского

детектора (Ring Imaging Cherenkov Detector или RICH) и детекторов переходного излучения (Transition Radiation Detectors или TRD) определялся тип частицы. Нейтральные частицы детектировались в электромагнитных калориметрах Фотон (PHOTON) и адронном калориметре (NCAL).

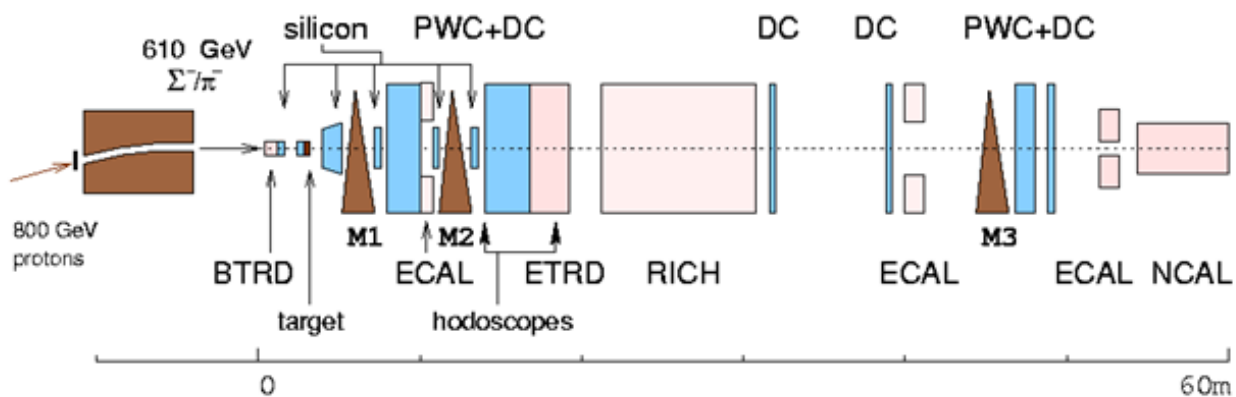


Рис.2. Схема установки SELEX

Гиперонный пучок. В эксперименте SELEX пучок протонов с энергией 800 ГэВ падал на бериллиевую мишень. Вылетающие вперёд вторичные частицы направлялись в узкий изогнутый канал, высверленный в гиперонном магните с напряжённостью поля 3,5 Тл. Вольфрамовые стенки канала служили для коллимации пучка. Поскольку относительная доля гиперонов во вторичном пучке растёт с энергией, данные для анализа были набраны с использованием гиперонного пучка с энергией 600 ± 50 ГэВ. В области мишени 600 ГэВ-ный вторичный пучок состоял из приблизительно 50,9% π^- , 46,3% Σ^- , 1,6% K^- и 1,2% Ξ^- .

Пучковый спектрометр. Пучковый спектрометр использовался для определения энергии пучка, запуска установки. Пучковый детектор переходного излучения (BTRD), расположенный внутри спектрометра, осуществляет разделение мезонной и барионной компонент в пучке. Мишень, которая также относится к области пучкового спектрометра, представляет собой пять фольг (двух медных и трёх углеродных), разделённых промежутком 1,5 см.

Вершинный спектрометр. Счётчик взаимодействий – используется для первичной оценки множественности заряженных

частиц и для работы триггера. Вершинный спектрометр состоит из 20-ти кремниевых микростриповых детекторов в виде пластин (пять отдельных станций, содержащих по четыре плоскости каждая), перекрывающих угол вылета 150 мрад.

М1 спектрометр. М1 спектрометр находится между М1 и М2 магнитами. Магнит М1 отклоняет низкоэнергичные частицы, образованные в первичном взаимодействии, с импульсом менее 2,5 ГэВ/с. Таким образом, область регистрации частиц лежит в диапазоне импульсов от 2,5 до 15 ГэВ/с. Следящие устройства в данном спектрометре состоят из 3-х многопроволочных пропорциональных камер (PWC), двух дрейфовых камер (DC), двух широкоугольных проволочных камер (Large Acceptance Wire Chamber или LASD) и электромагнитного калориметра из свинцового стекла Фотон 1 (ECAL), обеспечивающего обнаружение фотонов и измерение энергий.

М2 спектрометр. Спектрометр М2 используется для регистрации частиц с импульсом выше 15 ГэВ/с. Спектрометр М2 включает в себя: магнит, систему многопроволочных пропорциональных камер (PWC), состоящую из 7 камер, с расстояниями между проволочками 2 мм, детектор переходного излучения электронов (ETRD), кремниевый детектор (LASD), кольцевой черенковский детектор RICH, следующие за ним две установки векторных дрейфовых камер (VDC A и B), и калориметр Фотон 2 (ECAL).

Детектор переходного излучения электронов. Детектор переходного излучения электронов располагался в спектрометре М2 и использовался для разделения электронов и адронов. Переходное излучение возникало при прохождении заряженной частицы сквозь набор из 200 фольг, расположенных перед детектирующими камерами. Поскольку электрон имеет меньшую массу по сравнению с адроном, а интенсивность переходного излучения пропорциональна γ -фактору ($\gamma=E/m$), то интенсивность излучения от электрона будет существенно больше, чем интенсивность излучения от адрона, и это приведёт к большему числу регистрируемых кластеров. Переходное излучение детектировалось

многопроволочными пропорциональными камерами (MPWC), заполненными смесью ксенона и метана.

Кольцевой черенковский детектор. Кольцевой черенковский детектор являлся основным детектором для идентификации заряженных частиц. В нём частицы проходили 10-метровый цилиндр, заполненный газом Ne. Поскольку релятивистские частицы двигались быстрее, чем скорость света в данной среде, они испускали черенковские фотоны, которые отражались от сферического зеркала и образовывали кольца на детектирующей поверхности (рис. 3). Каждый радиус измерялся с пространственным разрешением 1,8 мм.

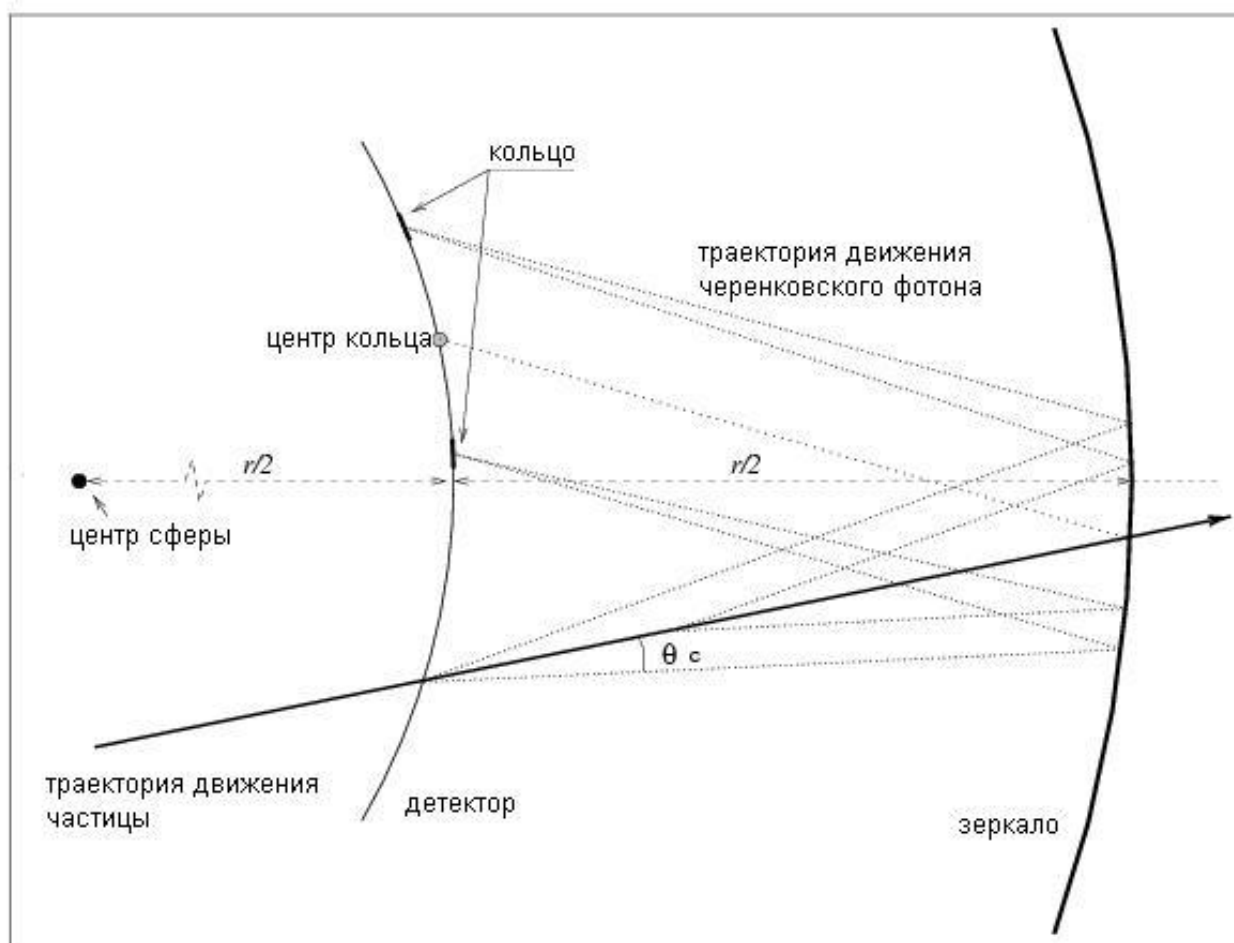


Рис. 3. Формирование колец на детектирующей поверхности RICH

В эксперименте SELEX черенковские фотоны отражались от зеркала с 20-метровым радиусом кривизны и фокусировались на

массиве из 2848 ФЭУ-60 с диаметром рабочей области фотокатода 10 мм. RICH-детектор использовался для определения вероятности того, что данный трек является электроном, мюоном, пионом, каоном, протоном, гипероном или другой частицей.

МЗ спектрометр. Спектрометр МЗ располагался в 42 метрах от мишени, вдоль оси пучка. Данный спектрометр использовался для улучшения измерения характеристик гиперонов с большой продолжительностью жизни. Например, импульс протона и π^- -мезона из Λ -распада может быть измерен этим путём. МЗ спектрометр состоял из: MWPC, дрейфовых камер, электромагнитного калориметра из свинцового стекла Фотон 3 (ECAL) и адронного калориметра (NCAL), который располагается в самом конце установки SELEX.

Установка SELEX была спроектирована для проведения исследований при больших импульсах налетающих частиц. Внешние условия для работы триггера обуславливались высокоинтенсивным пучком вплоть до 40 миллионов частиц за 20 секунд, т.е. при частоте пучка в 2 МГц или в среднем одна частица пучка каждые 500 нс. Частота события на выходе ограничивалась общей скоростью передачи данных с одной стороны и мертвым временем установки с другой.

В третьей главе приведено подробное описание кинематического метода идентификации частиц, используемого для нахождения искомых параметров (в частности «эффективной массы»). Описан поиск высоковозбуждённых гиперонных состояний со странностью -1 в эксперименте SELEX в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow p + K^- + X$. Представлены основные критерии отбора для протонов и K^- -мезонов, проведена оптимизация этих критериев. В этой главе также представлены данные по поиску резонансных состояний на пионом и протонном пучках в канале pK^- , а также поиск античастиц в канале $\bar{p}K^+$ на π , p , Σ^- -пучках.

Идентификация частиц. На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость радиуса кольца черенковского излучения от импульсов положительно заряженных частиц (μ^+ , π^+ , K^+ , p , Σ^+ , Ξ , $\bar{\Omega}$). Из рисунка наглядно видно, что приемлемая идентификация частиц возможна до области, где происходит

слияние кривых (~ 300 ГэВ/с). Видна даже область импульсов, в которой различаются по черенковскому излучению мюоны и пионы. Для отрицательно заряженных частиц зависимость аналогичная.

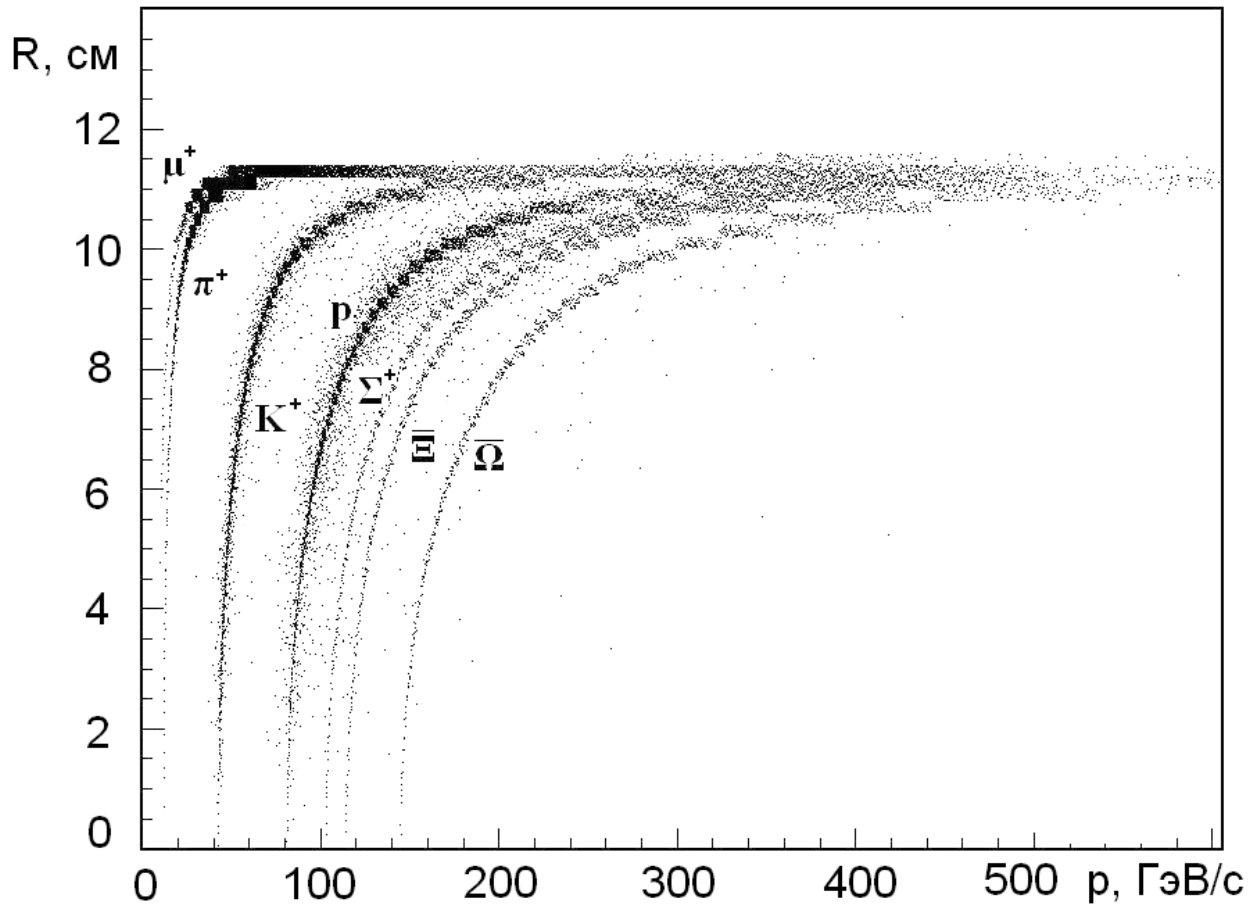


Рис. 4. Радиус колец в RICH для положительно заряженных частиц

На выборке данных (60 млн. триггерных событий из всего массива данных, порядка 1 млрд. событий) в реакции $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow p + K^- + X$ на гиперонном пучке с импульсом 600 ГэВ/с идентифицировались протоны с импульсом $80 \div 220$ ГэВ/с и заряженные каоны с импульсом $40 \div 160$ ГэВ/с. Знак заряда и импульс частицы определялись по отклонению трека в магнитном поле. Отбор треков проходил в соответствии с гипотезами RICH-детектора. Примесь Σ -гиперонов среди зарегистрированных протонов являлась незначительной, из-за того, что время жизни Σ -гиперонов существенно меньше времени жизни протонов (95,5%

всех Σ , вылетающих из мишени, распадаются до детектора RICH, при начальном значении импульса не более 600 ГэВ/с).

Отобрано 3593988 событий, содержащих протон и K^- -мезон, вылетающие из мишени. Спектр эффективных масс системы pK^- представлен на рис.5.

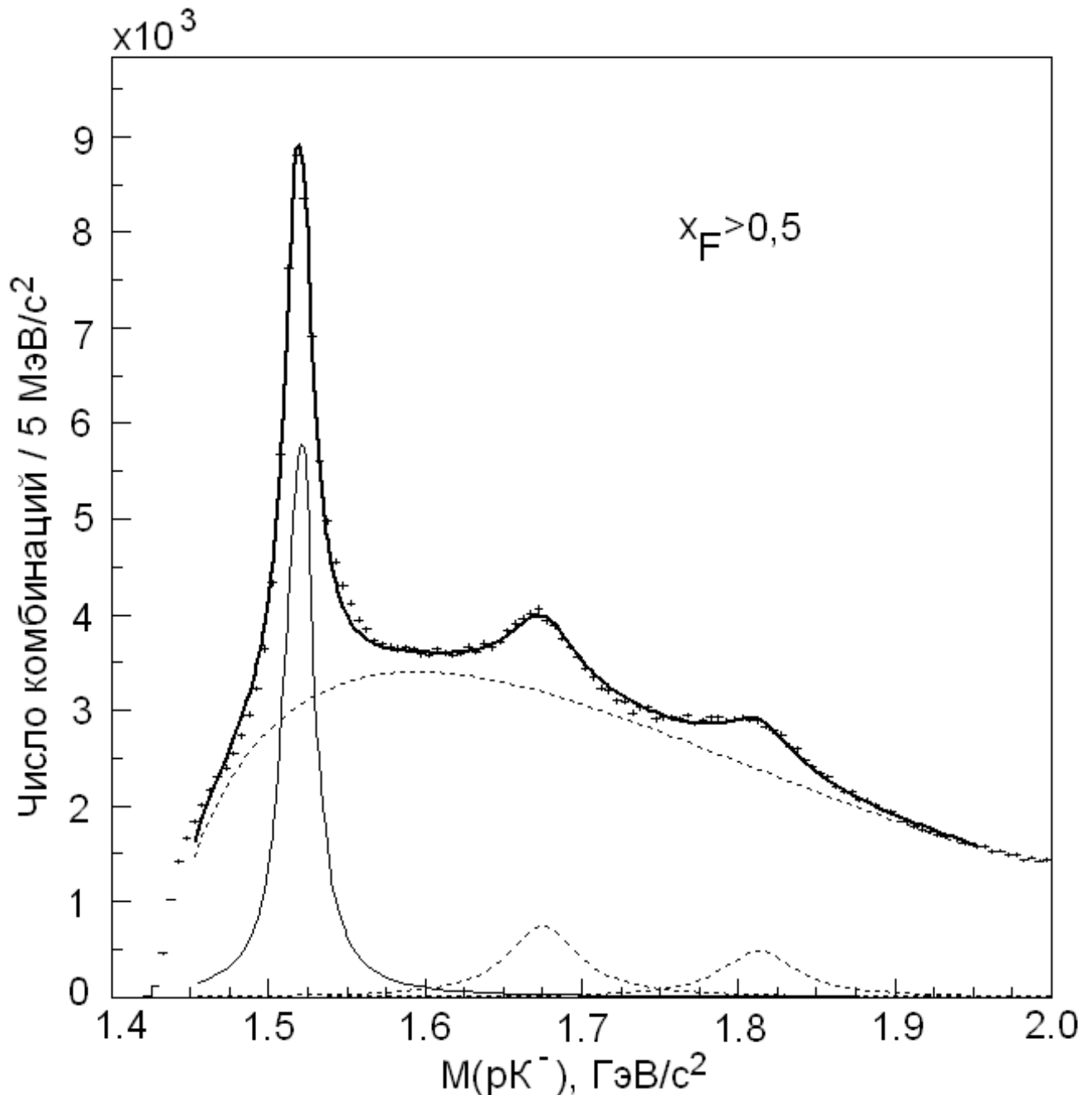


Рис.5. Спектр эффективных масс системы pK^- в диапазоне от 1,4 до 2,0 ГэВ/с² при значении $x_F > 0,5$. Пунктирными линиями показаны фон и резонансы по отдельности

В спектре эффективных масс системы pK^- отчетливо видны сигналы в областях 1520, 1670 и 1820 $\text{МэВ}/c^2$. Сигнал с массой 1520 $\text{МэВ}/c^2$ соответствует известному гиперонному состоянию $\Lambda(1520)$. Природа сигналов с массами 1670 и 1820 $\text{МэВ}/c^2$ не так очевидна. Превышение сигнала над фоном в резонансах: 232570 ± 803 событий – с массой 1520 $\text{МэВ}/c^2$, 42620 ± 976 – с массой 1670 $\text{МэВ}/c^2$ и 36070 ± 951 – с массой 1820 $\text{МэВ}/c^2$, что соответствует 206, 67 и 52 стандартным отклонениям соответственно. Статистическая обеспеченность сигналов не вызывает сомнений.

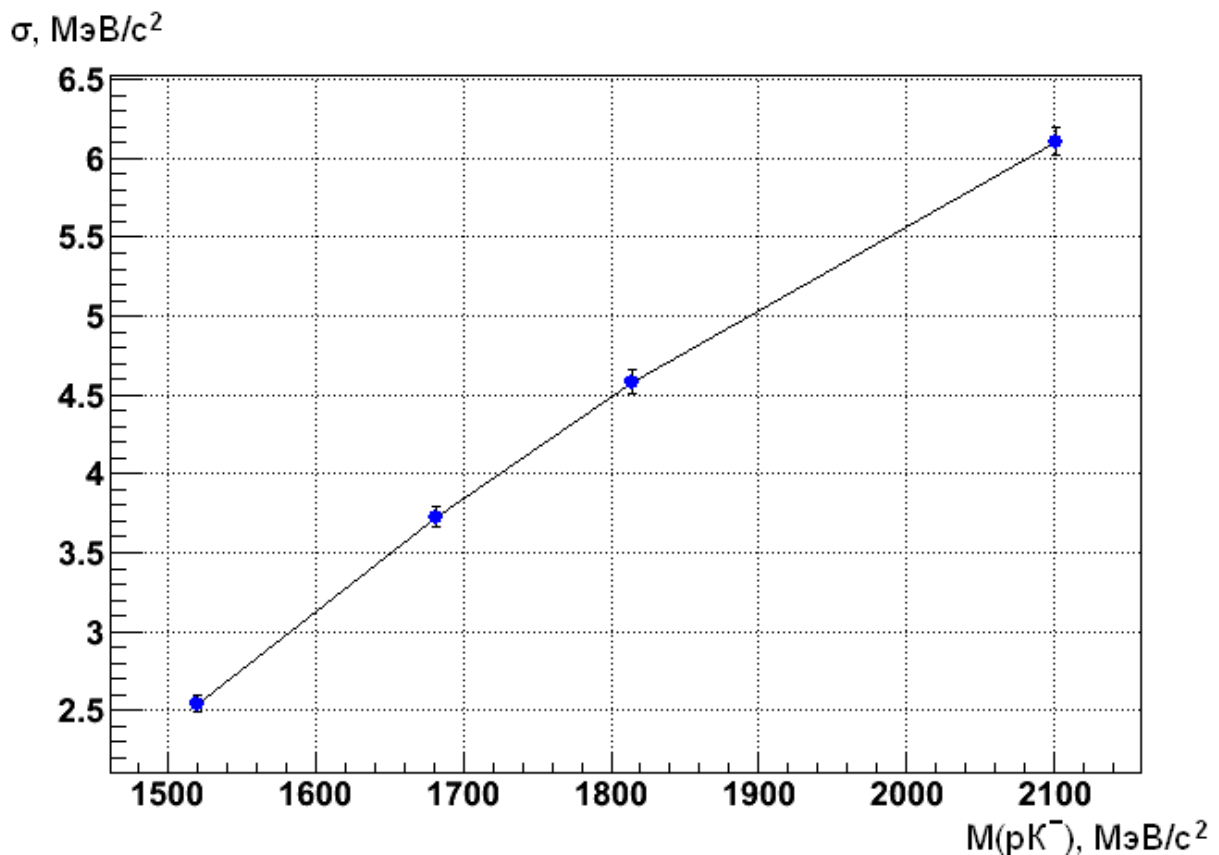


Рис. 6. Зависимость среднеквадратичного отклонения σ от эффективной массы системы pK^-

При описании фона использовались различные функции – полином, экспонента в степени полином, функция обратная полиному и т.д. Как видно из рис. 5, критерий согласия в районе $(1545 \div 1555) \text{МэВ}/c^2$ существенно больше чем 1. Это говорит о возможном существовании в этой области резонансного состояния. При фитировании спектров использовалось разрешение установки

$\sigma(M)$, полученное моделированием методом Монте-Карло для фиксированных значений эффективных масс при нулевой ширине резонансного состояния (рис. 6).

Исследована зависимость наблюдаемых сигналов в системе pK^- от фейнмановской переменной x_F . Оказалось, что при больших значениях x_F происходит относительное увеличение сигналов над фоном. Этот эффект может быть связан с механизмом лидирования.

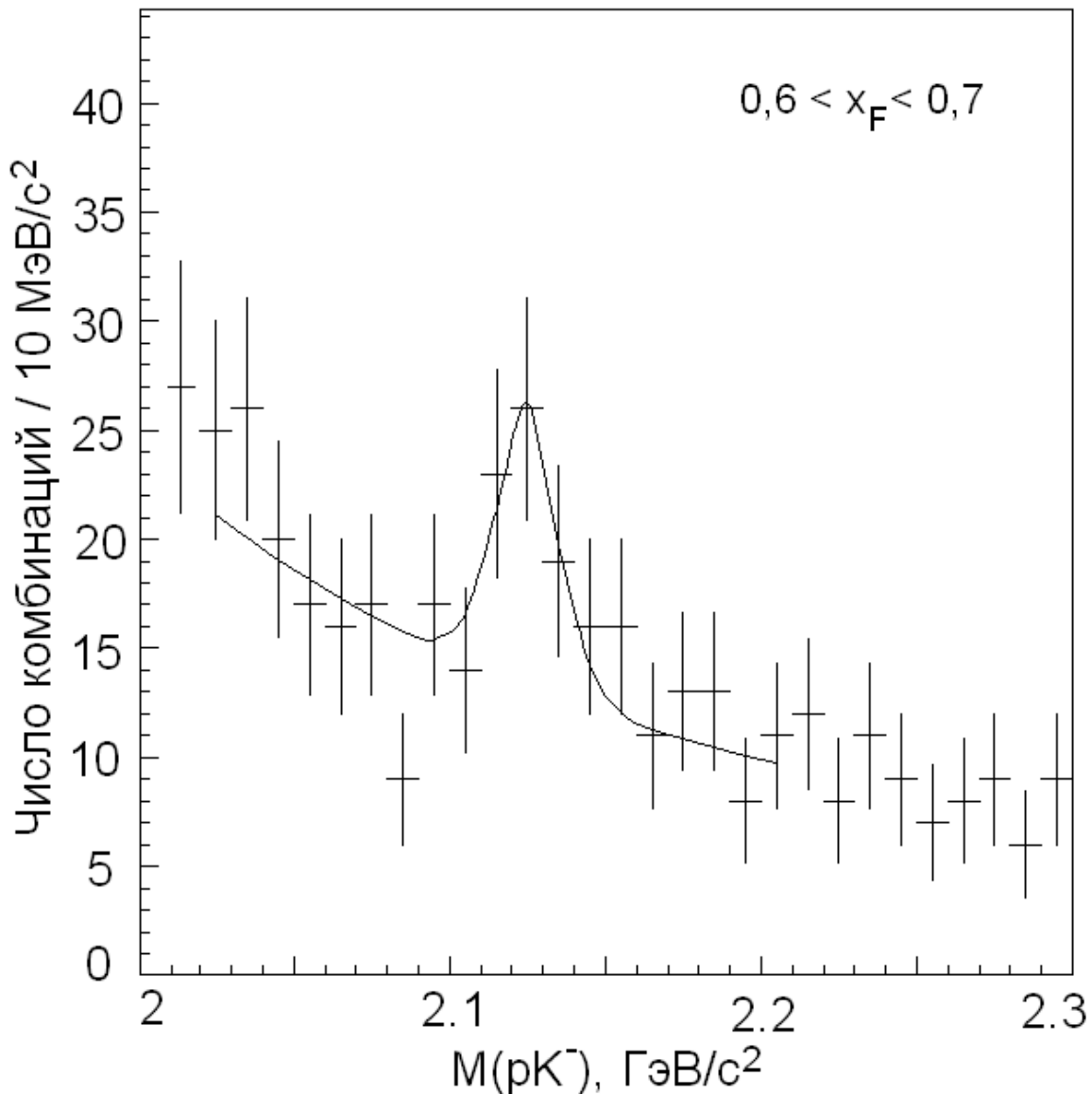


Рис. 7. Спектр эффективных масс системы pK^- при значениях $0,6 < x_F < 0,7$

При значении $0,6 < x_F < 0,7$ в спектре эффективных масс системы pK^- имеется указание на сигнал в области $2100 \text{ МэВ}/c^2$ с массой

2123±3 МэВ/с² и шириной 13±9 МэВ/с² (рис. 7). Значение $\chi^2=1$, число событий в сигнале 39±11. Статистическая обеспеченность этого сигнала составляет всего около четырёх стандартных отклонений. Ближайшим кандидатом из таблицы элементарных частиц является $\Sigma(2100)$ с шириной 70±30 МэВ/с² и с самым низким статусом (*).

Для определения изотопического спина наблюдаемых резонансов в системе pK^- в области 1,67 и 1,82 ГэВ/с² был проведён анализ спектра эффективных масс системы pK_s^0 . В данном спектре при различных значениях фейнмановской переменной x_F какие-либо значимые сигналы не обнаружены. Таким образом, наблюдаемые нами сигналы в спектре pK^- скорее всего соответствуют гиперонным состояниям с изотопическим спином 0.

Полученные характеристики гиперонов вместе с данными PDG приведены в табл. 1 (указаны как статистические, так и систематические погрешности).

Определено отношение выходов гиперонных состояний $\Lambda(1670)$ и $\Lambda(1810)$ или $\Lambda(1820)$ относительно $\Lambda(1520)$ в канале распада на pK^- . Оно оказалось равным

$$\frac{\sigma_{1670} \cdot BR(\Lambda(1820) \rightarrow pK^-)}{\sigma_{1520} \cdot BR(\Lambda(1820) \rightarrow pK^-)} = (24,92 \pm 0,45 \pm 0,48)\% ,$$

$$\frac{\sigma_{1820} \cdot BR(\Lambda(1820) \rightarrow pK^-)}{\sigma_{1520} \cdot BR(\Lambda(1820) \rightarrow pK^-)} = (16,13 \pm 0,38 \pm 0,45)\% ,$$

где σ – эффективное сечение рождения, BR – вероятность распада по данному каналу.

Проведены исследования образования гиперонных состояний также и на протонном и пионном пучках. В спектре эффективных масс системы pK^- на протонном пучке отчётливо наблюдается сигнал $\Lambda(1520)$, сигналы с массами 1670 и 1820 МэВ/с² имеют меньшую амплитуду по сравнению с сигналами, полученными на гиперонном пучке, так как в этом случае мы имеем другой механизм образования гиперонных состояний (вероятность рождения

гиперонных состояний меньше, чем на Σ^- -пучке). На пионном пучке виден лишь сигнал в области $1520 \text{ МэВ}/c^2$.

В **четвёртой главе** описан поиск мезонов со скрытой странностью в эксперименте SELEX в реакциях $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow K^+ + K^- + X$. Представлены основные критерии отбора частиц, дано их подробное описание. Как и в случае системы pK^- , для системы K^+K^- был проведён предварительный отбор событий.

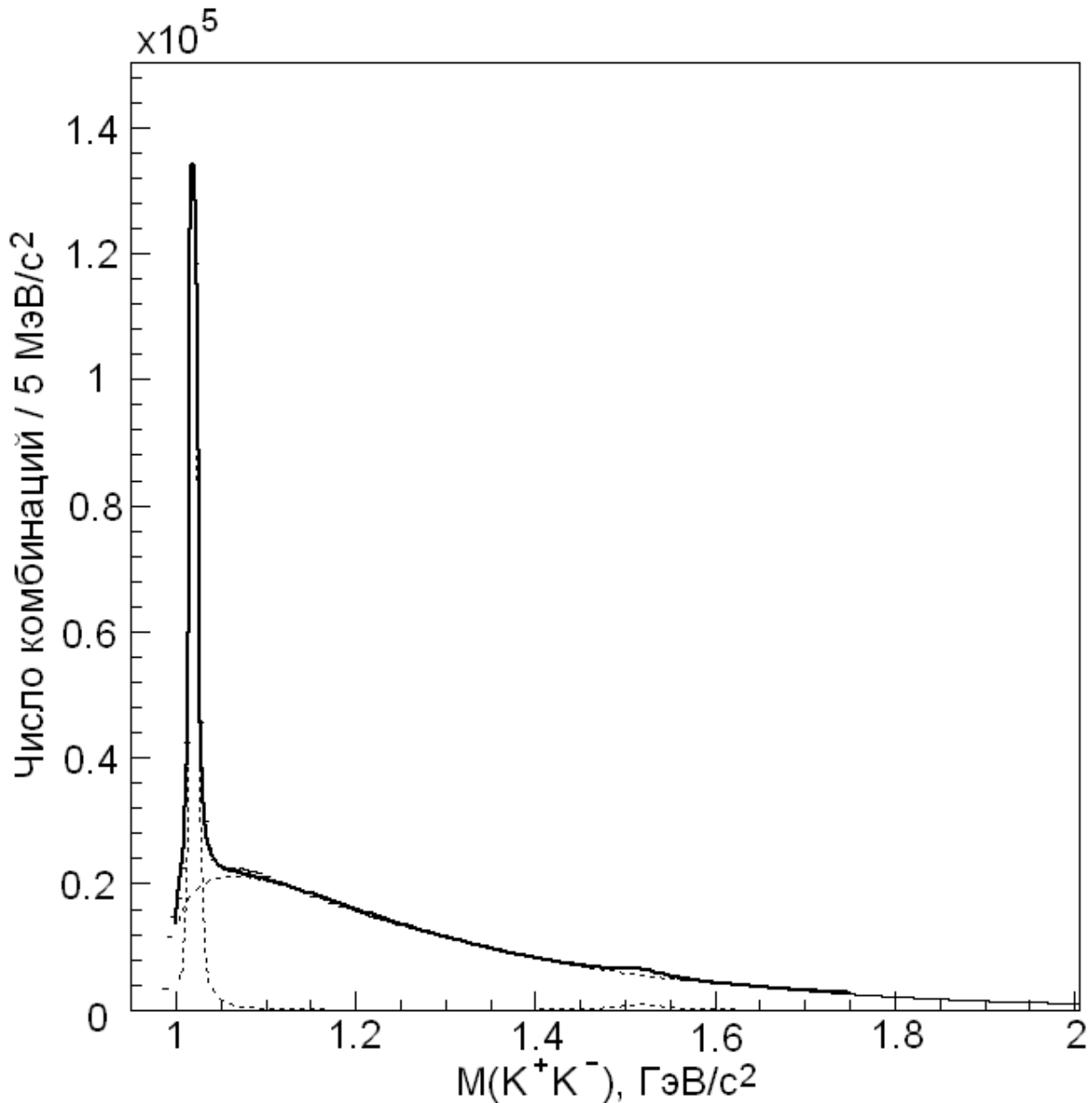


Рис. 8. Спектр эффективных масс системы K^+K^- . Сплошной линией показан результат фита, пунктирной – фон и резонансы по отдельности

На выборке данных системы K^+K^- (2,3 млн. триггерных событий из всего массива данных, порядка 1 млрд. событий) в реакции $\Sigma^- + C(Cu) \rightarrow K^+ + K^- + X$ на гиперонном пучке с импульсом 600 ГэВ/с идентифицировались положительно и отрицательно заряженные каоны с импульсом от 40 ÷ 160 ГэВ/с. Отбор треков проходил в соответствии с сигналами в RICH-детекторе.

Отобрано 2255544 событий, содержащих один отрицательный и один положительный K-мезоны.

Спектр эффективных масс системы K^+K^- представлен на рис.8 и 9. В системе K^+K^- отчётливо видны сигналы в области 1020 и 1525 МэВ/с², которые однозначно можно идентифицировать как $\phi^0(1020)$ и $f_2'(1525)$ -мезоны, соответственно.

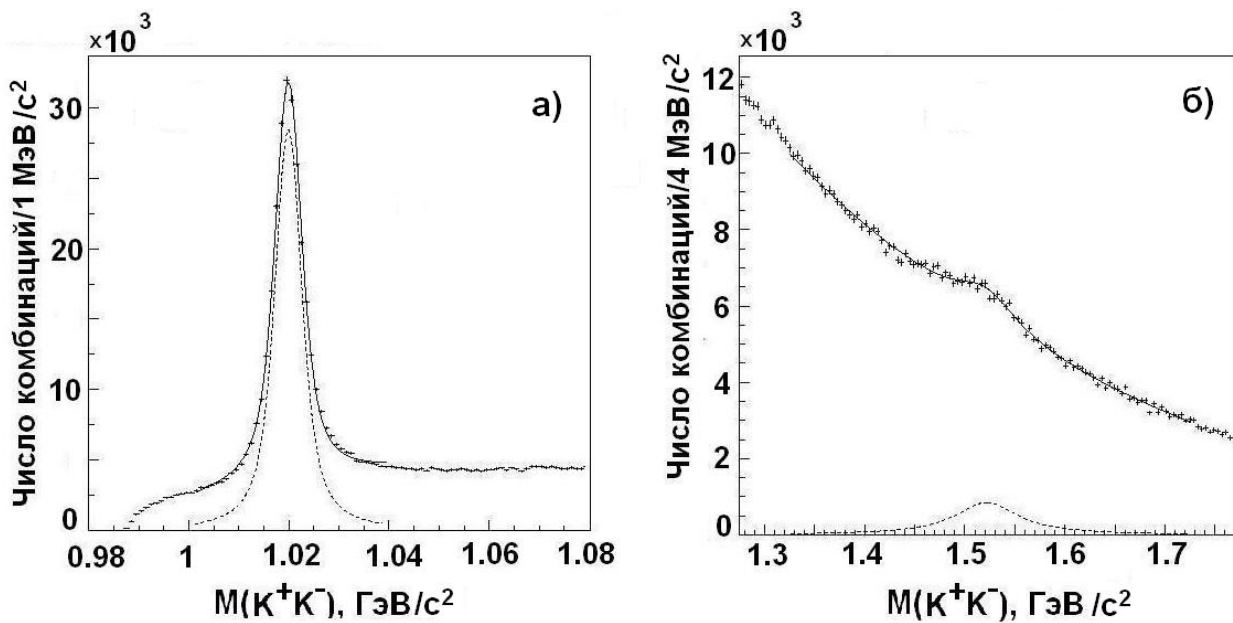


Рис. 9. Спектр эффективных масс системы K^+K^- в области 1020 МэВ/с² (а) и 1525 МэВ/с² (б) (сплошной линией показан результат фита, пунктирной – резонансы в отсутствии фона.)

Сигнал от $\phi^0(1020)$ -мезона отличается высоким значением отношения сигнал/фон и малой шириной; число событий в пике равно 264973 ± 3355 . На рис. 8 и 9б виден сигнал небольшой амплитуды от $f_2'(1525)$ -мезона, содержащий 28492 ± 842 событий. Статистическая обеспеченность резонансов составляет 504 и 34

стандартных отклонения для $\phi^0(1020)$ -мезона и $f_2'(1525)$ -мезона соответственно.

При фитировании спектра (как и в случае системы pK^-) использовалось разрешение установки $\sigma(M)$, полученное моделированием методом Монте-Карло для фиксированных значений эффективных масс при нулевой ширине резонансного состояния. Разрешение установки $\sigma(M)$ для состояния с массой $1020 \text{ МэВ}/c^2$ составляет $1,6 \text{ МэВ}/c^2$, для состояния с массой $1525 \text{ МэВ}/c^2 - 4,5 \text{ МэВ}/c^2$.

Определено отношение выхода мезона $f_2'(1525)$ относительно $\phi^0(1020)$ в канале распада на K^+K^- . Оно оказалось равным

$$\frac{\sigma_{1525} \cdot BR(f_2'(1525) \rightarrow K^+K^-)}{\sigma_{1020} \cdot BR(\phi^0(1020) \rightarrow K^+K^-)} = (10,75 \pm 0,25 \pm 0,45)\%$$

Полученные характеристики мезонов со скрытой странностью вместе с данными PDG приведены в табл. 1 (указаны как статистические, так и систематические погрешности).

Проведён поиск состояний в системе $\bar{p}K^+$ на гиперонном, протонном и пионном пучках. Отчётливо виден сигнал $\bar{\Lambda}(1520)$. Сигналы в области 1670 и $1820 \text{ МэВ}/c^2$ сильно подавлены.

Таблица 1. Результаты фитирования спектров pK^- и K^+K^-

Адрон	$M_{\text{PDG}}, \text{ МэВ}/c^2$	$\Gamma_{\text{PDG}}, \text{ МэВ}/c^2$	$M_{\text{эксп}}, \text{ МэВ}/c^2$	$\Gamma_{\text{эксп.}}, \text{ МэВ}/c^2$
$\Lambda(1520)$	$1519,5 \pm 1$	$15,6 \pm 1$	$1518,7 \pm 0,1 \pm 1,0$	$15,6 \pm 0,1 \pm 1,0$
$\Lambda(1670)$	$1660 \div 1680$	$25 \div 50$	$1672,9 \pm 0,8 \pm 1,0$	$56,6 \pm 1,6 \pm 3,0$
$\Lambda(1820)$	$1815 \div 1825$	$70 \div 90$	$1809,1 \pm 1,4 \pm 1,0$	$71,6 \pm 3,6 \pm 1,4$
$\Sigma(2100)$	≈ 2100	70 ± 30	2125 ± 4	17 ± 6
$\phi^0(1020)$	$1019,460 \pm 0,019$	$4,26 \pm 0,05$	$1019,9 \pm 0,1 \pm 0,4$	$4,32 \pm 0,09 \pm 0,16$
$f_2'(1525)$	1525 ± 5	76 ± 10	$1522 \pm 1 \pm 2$	$84 \pm 2 \pm 3$

В заключении сформулированы основные результаты и выводы данной работы:

1. По материалам эксперимента SELEX проведена идентификация протонов и К-мезонов в реакциях $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow p + K^- + X$ и $\Sigma^- + C(\text{Cu}) \rightarrow K^+ + K^- + X$ с использованием RICH детектора, подобраны оптимальные ограничения для отбора событий.

2. Путём моделирования определено разрешение установки SELEX в спектре эффективных масс системы pK^- и в спектре эффективных масс системы K^+K^- .

3. Наблюдались высоковозбуждённые гиперонные состояния в системе pK^- в области 1,52 ($M = 1518,7 \pm 0,1 \pm 1,0$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 15,6 \pm 0,1 \pm 1,0$ МэВ/ c^2), 1,67 ($M = 1672,9 \pm 0,8 \pm 1,0$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 56,6 \pm 1,6 \pm 3,0$ МэВ/ c^2) и 1,82 ($M = 1809,1 \pm 1,4 \pm 1,0$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 71,6 \pm 3,6 \pm 1,4$ МэВ/ c^2). Сигнал вблизи 1,52 ГэВ/ c^2 соответствует известному резонансу $\Lambda(1520)$. Сигналы вблизи 1,67 и 1,82 ГэВ/ c^2 согласуются с результатами экспериментов SPHINX 2004 года и WA89 2007 года. Наблюдаемые нами сигналы в спектре pK^- скорее всего соответствуют гиперонным состояниям с изотопическим спином 0.

Измеренные параметры гиперонных состояний имеют наибольшую статистическую обеспеченность среди аналогичных экспериментальных данных, представленных в PDG.

4. Определено отношение выходов гиперонных состояний $\Lambda(1670)$ и $\Lambda(1820)$ относительно $\Lambda(1520)$ в канале распада на pK^- .

5. Исследована зависимость наблюдаемых сигналов в системе pK^- от фейнмановской переменной x_F . Показано, что при больших значениях x_F происходит относительное увеличение сигналов над фоном. При малых значениях фейнмановской переменной x_F ($x_F < 0,3$) сигнал вблизи 1520 МэВ/ c^2 существенно уменьшается, а сигналы вблизи 1670 и 1810 МэВ/ c^2 не наблюдаются. Данное наблюдение полностью подтверждает эффект механизма лидирования и полюсного механизма в адронных взаимодействиях.

6. Впервые в спектре эффективных масс в системе pK^- обнаружен сигнал в области 2,1 ГэВ/ c^2 ($M = 2125 \pm 4$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 17 \pm 6$ МэВ/ c^2), который виден лишь при значении фейнмановской

переменной $0,6 < x_F < 0,7$.

7. Проведён поиск состояний в системе pK^- на протонном и пионном пучках, а также поиск античастиц в системе $\bar{p}K^+$ на π^- , p , Σ^- - пучках. Амплитуда сигналов, наблюдаемых на гиперонном пучке, в данных условиях подавлена, что также наглядно подтверждает механизм лидирования.

8. В системе K^+K^- наблюдались сигналы в области 1020 и 1525 МэВ/с².

Сигнал вблизи 1,02 ГэВ/с² ($M = 1019,9 \pm 0,1 \pm 0,4$ МэВ/с², $\Gamma = 4,32 \pm 0,09 \pm 0,16$ МэВ/с²), соответствует $\phi_0(1020)$ -мезону, а в области 1,525 ГэВ/с² ($M = 1522 \pm 1 \pm 2$ МэВ/с², $\Gamma = 84 \pm 2 \pm 3$ МэВ/с²), соответствует $f_2'(1525)$ -мезону. Число событий в сигнале f_2' составляет около 29000 и это более чем на два порядка превышает существующие мировые данные по наблюдению в спектрах эффективных масс f_2' -мезона на пучках, содержащих странные кварки. Более того, статистическая обеспеченность резонанса f_2' превосходит абсолютно все другие экспериментальные данные представленные в PDG как минимум на порядок.

9. Измерено отношение выхода резонанса $f_2'(1525)$ относительно $\phi^0(1020)$ в канале распада на K^+K^- .

Личное участие автора. Автор принимал непосредственное участие в оптимизации критериев отбора событий протонов и заряженные каонов; отборе событий в соответствии с этими критериями отбора; моделировании резонансов для определения разрешения установки в спектрах эффективных масс систем pK^- и K^+K^- ; физическом анализе спектров эффективных масс; определении характеристик возбуждённых гиперонных резонансов и мезонов со скрытой странностью: масс, ширин и относительных выходов; сравнении результатов анализа с мировыми данными; представлении результатов на конференциях и оформлении публикаций по теме диссертации.

Публикации автора по теме диссертации

1. В.В. Тарасов, П.О. Варламов (от коллаборации SELEX) «Образование адронов содержащих странные кварки, в Σ^+A - взаимодействиях в эксперименте SELEX». Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. №4. С. 496-501.

2. В.В. Тарасов, П.О. Варламов (от коллаборации SELEX) «Образование адронов, содержащих странные кварки, в Σ^+A - взаимодействиях в эксперименте SELEX». 59 международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «ЯДРО 2009». Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты ядерной физики: от космоса до нанотехнологий. Тезисы докладов. СПб, 2009. С. 111.

3. О.В. Булеков, В.В. Тарасов и др. Разработка программного обеспечения для физического анализа данных эксперимента SELEX. Письма в ЭЧАЯ. 2009. Т. 6, №1(150). С. 145-151.

4. П.О. Варламов, В.В. Тарасов от коллаборации SELEX.»Образование мезонов со скрытой странностью в Σ^+A - взаимодействиях при начальной энергии 0,6 ТэВ. Научная сессия МИФИ – 2009. Сборник научных трудов. Т. IV. «Фундаментальные проблемы науки». НИЯУ МИФИ. Москва 2009. С. 89-92.

5. В.В. Тарасов, П.О. Варламов от коллаборации SELEX. «Образование гиперонных состояний со странностью -1 на Σ^- -пучке Тэватрона FNAL». Научная сессия МИФИ – 2009. Сборник научных трудов. Т. IV. «Фундаментальные проблемы науки». НИЯУ МИФИ. Москва 2009. С. 93-96.

6. Назаров П.К., Тарасов В.В. Регистрация \bar{p} в эксперименте SELEX. «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях. Физика ядра и элементарных частиц». IV конференция НОЦ CRDF. Сборник научных трудов. МИФИ. Москва 2006. С.30-31.

7. Меринов И.Н., Тарасов В.В. Идентификация \bar{p} в эксперименте SELEX кольцевым черенковским детектором. V конференция НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях. Физика ядра и элементарных частиц». Сборник научных трудов. МИФИ. Москва 2007. С.107-108.

8. Коллаборация SELEX. Представлено Тарасовым В.В. Наблюдение высоковозбуждённых гиперонных состояний в системе pK^- . VI конференция НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях. Физика ядра и элементарных частиц». Сборник научных трудов. МИФИ. Москва 2008. С.88-89.

9. Коллаборация SELEX. Представлено Тарасовым В.В. Ф-мезон как тест качества идентификации протонов и антипротонов RICH-детектором. VI конференция НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях. Физика ядра и элементарных частиц». Сборник научных трудов, МИФИ. Москва 2008. С.90-91.

10. Коллаборация SELEX. Представлено В.В. Тарасовым. Определение разрешения адронного спектрометра SELEX по эффективной массе системы pK^- . Научная сессия МИФИ-2009. Аннотации докладов. Т. 2. «Исследование материи в экстремальных состояниях». МИФИ. Москва 2009. С. 262.

11. Коллаборация SELEX. Представлено В.В. Тарасовым. Образование гиперонных состояний со странностью -1 на Σ^- -пучке Тэватрона. Научная сессия МИФИ-2009. Аннотации докладов. Т. 2. «Исследование материи в экстремальных состояниях». МИФИ. Москва 2009. С. 262.

12. Коллаборация SELEX. Представлено П.О. Варламовым, В.В. Тарасовым. Измерение параметров $\phi^0(1020)$ мезона в эксперименте SELEX. Научная сессия МИФИ-2009. Аннотации докладов. Т. 2. «Исследование материи в экстремальных состояниях». МИФИ. Москва 2009. С. 260.

13. Коллаборация SELEX. Представлено П.О. Варламовым, В.В. Тарасовым. Образование мезона $f_2'(1525)$ в эксперименте SELEX. Научная сессия МИФИ-2009. Аннотации докладов. Т. 2. «Исследование материи в экстремальных состояниях». С. 260.

14. Коллаборация SELEX. Представлено П. О. Варламовым, В. В. Тарасовым. «Совместное рождение пар $\phi^0(1020)$ -мезонов в эксперименте SELEX». Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2010. Аннотация докладов. Т.2. Москва 2010. С. 234.