



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

2004–28  
На правах рукописи

Молчанов Владимир Викторович

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ РАСПАДОВ  
МЕЗОНОВ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ АДРОНОВ В ПОЛЕ ЯДРА**

01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико–математических наук

Протвино 2004

УДК 539.12

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Л.Г. Ландсберг.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, академик С.С. Герштейн (ОТФ, ИФВЭ, Протвино), доктор физико-математических наук В.Н. Ройнишвили (ОИЯИ, Дубна).

Ведущая организация – Институт теоретической и экспериментальной физики (г. Москва).

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2004 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 201.004.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142281, Протвино Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 201.004.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр  
Российской Федерации  
Институт физики высоких энергий, 2004

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Поиск и исследование радиационных распадов является важной составной частью спектроскопии адронов. Электромагнитные взаимодействия адронов более понятны по сравнению с чисто адронными процессами, и их рассмотрению посвящено большое количество теоретических работ. Изучение электромагнитных взаимодействий адронов позволяет получить информацию о магнитных моментах, константах связи и т.д., что в свою очередь служит базой для сравнения различных моделей адронов.

Как правило, радиационные распады имеют малые относительные вероятности, а их наблюдение происходит в неблагоприятных фоновых условиях, обусловленных адронными процессами с одним или несколькими потерянными фотонами. Поэтому большинство измерений имеет невысокую точность, многие из них выполнены в единственном эксперименте, а некоторые распады с малыми относительными вероятностями вообще не наблюдались. Таким образом, повышение точности измерений и наблюдение новых процессов по-прежнему является актуальной задачей.

Наблюдение радиационных распадов предъявляет высокие требования к технике эксперимента — необходима хорошая охранная

система, возможность регистрации как заряженных, так и нейтральных частиц, а также большая статистика. Во многих случаях радиационные ширины адронов можно определить, измеряя сечение электромагнитного образования соответствующего резонанса в кулоновском поле ядра (эффект Примакова). Такие измерения желательны проводить при высокой энергии, и для них требуется хорошее разрешение по переданному импульсу. Перечисленными свойствами обладали установки ЛЕПТОН-Ф и СФИНКС (ИФВЭ, Протвино), а также SELEX (FNAL, США), что позволило провести исследования ряда радиационных процессов на более высоком уровне, чем в предшествовавших экспериментах.

**Цель диссертационной работы** — экспериментальное изучение электромагнитных взаимодействий адронов:

- Исследование радиационного распада

$$\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma. \quad (1)$$

- Определение возможности регистрации процессов электромагнитного образования адронов на установке СФИНКС.
- Измерение ширины радиационного распада

$$a_2(1320)^- \rightarrow \pi^- \gamma \quad (2)$$

методом Примакова.

- Поиск электромагнитного образования  $\Sigma(1385)^-$  в реакции

$$\Sigma^- + \text{Pb} \rightarrow \Lambda \pi^- + \text{Pb} \quad (3)$$

и определение радиационной ширины этого гиперона методом Примакова.

### **Научная новизна и практическая ценность работы**

Научная новизна диссертационной работы состоит: во-первых, в обнаружении существенного вклада нерезонансного механизма в распад  $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ ; во-вторых, в прецизионном определении радиационной ширины  $\Gamma(a_2 \rightarrow \pi \gamma)$ , которое является самым точным в

мире; в-третьих, в определении верхнего предела на ширину SU(3)-запрещенного радиационного распада  $\Gamma[\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^-\gamma]$ , который является самым низким в мире; в-четвертых, в первом наблюдении электромагнитного образования системы  $\Lambda\pi^-$  и оценке сечения реакции фоторождения  $\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ . Практическая ценность данной работы состоит главным образом в том, что ее результаты служат дальнейшему уточнению наших представлений о свойствах элементарных частиц, а также предоставляют важную информацию для планирования новых измерений.

Обнаружение в распаде  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$  вклада нерезонансного механизма стимулировало дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования этого распада. Положительный ответ на вопрос о возможности регистрации электромагнитного образования адронов на установке СФИНКС имеет главным образом методическую ценность. Демонстрация доминирующего вклада электромагнитного механизма в образование  $\Lambda\pi^-$ -системы в когерентных взаимодействиях  $\Sigma^-$ -гиперонов высокой энергии является первым измерением такого рода и свидетельствует о вероятной осуществимости и других измерений процессов электромагнитного образования с участием  $\Sigma^\pm$ -гиперонов. Оценка сечения фоторождения  $\sigma[\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-]$  важна для планирования новых экспериментов по измерению радиационных ширин  $\Sigma(1385)^\pm$ -гиперонов на основе эффекта Примакова.

В измерениях, основанных на эффекте Примакова, критичным является определение абсолютного значения сечения кулоновского образования изучаемой системы. Поэтому большую практическую ценность имеет выполненное измерение сечения дифракционного образования  $\pi^+\pi^-\pi^-$  в  $\pi^-$ -С-взаимодействиях при энергии 600 ГэВ. Полученное значение использовалось для нормировки сечений в измерении радиационной ширины  $a_2$ -мезона и поисках электромагнитного образования  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона, и также может использоваться для нормировки других измерений процессов кулоновского образования в эксперименте SELEX.

**Положения, выносимые на защиту:**

- Результаты исследования радиационного распада  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ .

- Наблюдение электромагнитного образования  $\Delta(1232)^+$  в эксперименте СФИНКС.
- Результаты измерений парциальной ширины радиационного распада  $a_2(1320)^- \rightarrow \pi^- \gamma$ .
- Результаты исследования реакции  $\Sigma^- + \text{Pb} \rightarrow \Lambda \pi^- + \text{Pb}$  при энергии пучка 600 ГэВ.
- Определение сечения дифракционного образования  $\pi^+ \pi^- \pi^-$  в  $\pi^- \text{C}$ -взаимодействиях при энергии 600 ГэВ.

**Апробация работы и публикации.**

Апробация диссертации прошла в ГНЦ ИФВЭ 19 мая 2004 года. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в журналах "Ядерная Физика", "Zeitschrift für Physik C" и "Physics Letters B", докладывались на сессиях отделения ядерной физики академии наук и международной конференции по адронной спектроскопии HADRON-2001 [1,2,3,4,5,6].

**Структура и объем диссертации.** Работа изложена на 127 страницах печатного текста, состоит из введения, шести глав, заключения и приложения, содержит 46 рисунков, 18 таблиц и список цитируемой литературы, включающий 107 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность изучаемых проблем, рассмотрены некоторые методы определения радиационных ширин адронов, кратко изложены предыдущие измерения исследуемых в диссертации процессов, описана структура диссертации.

**В первой главе** изложено исследование радиационного распада

$$\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \tag{4}$$

в экспериментальных данных, полученных на установке ЛЕПТОН-Ф. Общий вид этой установки приведен на рис. 1. Установка представляла собой широкоапертурный магнитный спектрометр, предназна-

ченный для регистрации заряженных частиц и фотонов, и имела в своем составе следующие основные элементы:

1. Сцинтилляционные счетчики и годоскопы.
2. Мишень, окруженную охранной системой.
3. Пропорциональные камеры.
4. Пороговые черенковские детекторы.
5. Спектрометрический магнит.
6. Многоканальный гамма-спектрометр ГАМС-200 и активный конвертор перед ним.

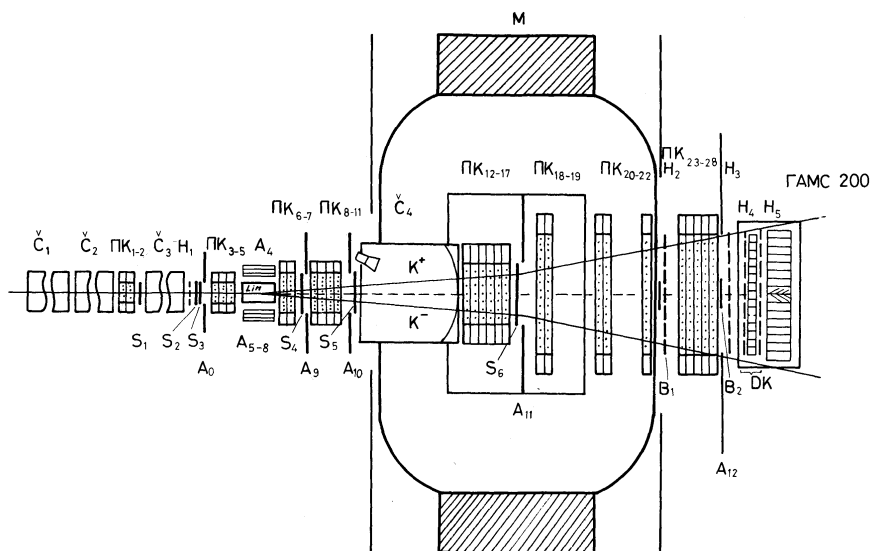


Рис. 1. Схема установки ЛЕПТОН-Ф.

Для получения  $\eta'$ -мезонов использовалась реакция перезарядки



при энергии пучка 32 ГэВ.

Для выделения распада (4) в реакции (5) отбирались события с двумя заряженными треками разных знаков и одним фотоном. Требовалось, чтобы заряженные треки были идентифицированы как пионы и образовывали вершину в области мишени. Эксклюзивный характер отбираемых событий обеспечивался счетчиками охранной системы и требованием соответствия суммарной энергии вторичных частиц энергии пучка. Также применялся специальный отбор для подавления фона, вызванного образованием  $\rho^-$ -мезона. В итоге было отобрано около 2000 событий распада (4) при небольшом фоне, что являлось наибольшей статистикой в мире на момент анализа данных и публикации результатов.

Законы сохранения допускают следующие квантовые числа  $\pi^+\pi^-$ -пары в распаде (4):  $J^{PC} = 1^{--}, 3^{--}, \dots$  и ограничивают проекцию момента  $\pi^+\pi^-$ -пары в системе ее покоя на направление движения фотона значениями  $\pm 1$ . Экспериментальное исследование распределения по углу между направлениями движения фотона и  $\pi^+$ -мезона в системе покоя  $\pi^+\pi^-$  показало, что оно согласуется со значением  $J = 1$ , а интегральный вклад амплитуды с  $J = 3$  не превышает приблизительно 6%.

Далее в распаде (4) исследовалось распределение по эффективной массе  $M(\pi^+\pi^-)$ . Сначала была предпринята попытка описания экспериментального спектра в рамках модели каскадного распада через  $\rho$ -мезон, как это делалось в предшествующих работах. Были использованы различные способы параметризации формы  $\rho$ -мезона, но во всех случаях результирующее описание оказывалось неудовлетворительным. Анализ возможного вклада других резонансов показал, что и при их учете нельзя получить более качественное описание экспериментального распределения.

Новым подходом явилась попытка учесть возможность распада нерезонансным образом, для описания которого использовалась простейшая удовлетворяющая квантовым числам амплитуда. Это значительно повысило качество описания данных, в результате чего был сделан вывод о существенном вкладе в распад (4) нерезонансного процесса.



Экспериментальное обнаружение нерезонансного вклада стимулировало ряд новых исследований. В теоретических работах этот эффект был интерпретирован как проявление "квадратной" аномалии (*box anomaly* в англоязычной литературе). Наличие нерезонансного вклада было подтверждено в другом эксперименте на бóльшей статистике. В настоящее время существует несколько подходов к описанию распада (4), основанных на киральной теории возмущений. Пример одного из таких описаний (не имеющего свободных параметров!) и влияние аномалии показаны на рис. 2.

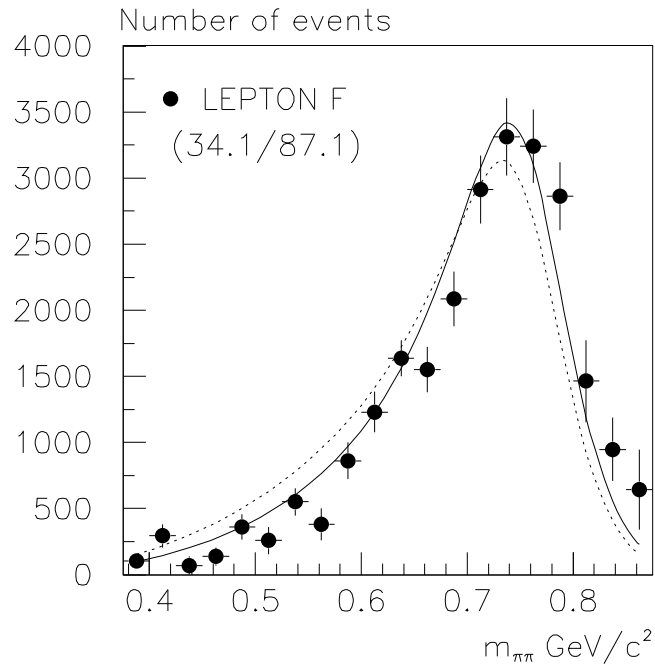


Рис. 2. Описание экспериментального распределения по эффективной массе  $M(\pi^+\pi^-)$  в данных ЛЕПТОН-Ф в модели скрытой локальной симметрии (рисунок воспроизведен из nucl-th/0306078). Сплошная и штриховая линии соответствуют описаниям с учетом и без учета аномального вклада. В скобках приведены значения  $\chi^2$ .

Во второй главе приводится исследование принципиальной возможности регистрации процессов электромагнитного образования адронов на установке СФИНКС. Установка СФИНКС представляла собой универсальный магнитный спектрометр, работавший в протонном пучке с энергией 70 ГэВ. Общий вид установки показан на рис. 3. Основные элементы установки перечислены ниже:

1. Сцинтилляционные счетчики  $S_1-S_4$  и  $B_1-B_2$ .
2. Мишень (полиэтилен), окруженная охранной системой  $A_1-A_{14}$ .
3. Сцинтилляционные годоскопы  $H_1-H_4$ .
4. Пропорциональные камеры  $PC1-PC4$ .
5. Дрейфовые камеры  $DC$ .
6. Спектроскопический магнит SP-40.
7. Многоканальные пороговые черенковские счетчики  $\check{C}_1-\check{C}_2$ .
8. Черенковский счетчик с регистрацией колец излучения RICH.
9. Фотонный спектрометр GAMS на основе свинцового стекла.

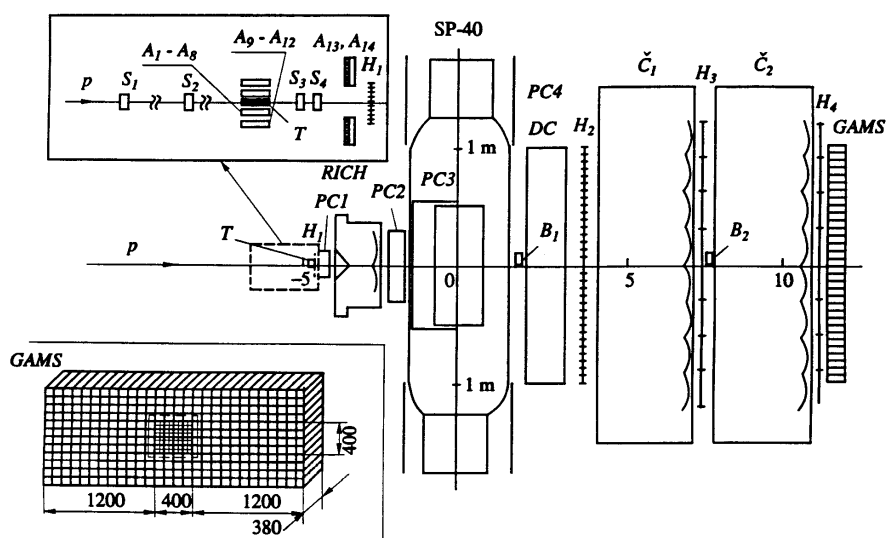
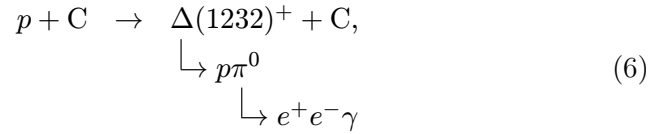


Рис. 3. Схема установки СФИНКС.

Одним из основных направлений физической программы эксперимента СФИНКС является поиск криптоэкзотических барионных состояний со скрытой странностью в процессах дифракционного образования. Как показал качественный анализ, эффективными могли бы быть также поиски в кулоновском образовании в поле ядра (эффект Примакова). Регистрация этих процессов расширила бы программу эксперимента, но возможность этого не очевидна, так как установка СФИНКС не была оптимизирована для подобных измерений. Лучшей демонстрацией способностей установки было бы наблюдение какого-либо известного процесса на уже набранной статистике.

Основные триггерные решения предназначались главным образом для изучения эксклюзивных реакций с тремя заряженными частицами и несколькими фотонами в конечном состоянии. Анализ имеющихся возможностей показал, что единственным кандидатом является реакция электромагнитного образования  $\Delta(1232)^+$ , выделение которой должно производиться по следующей схеме:



причем система  $e^+e^-\gamma$  могла образовываться как в результате Далитц-распада  $\pi^0$ -мезона, так и в результате распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  с последующей конверсией одного из фотонов в веществе мишени.

Для выделения процесса (6) отбирались события с тремя реконструированными заряженными треками в конечном состоянии, имеющими суммарный заряд  $Q = +1$ , и одним  $\gamma$ -квантом, зарегистрированным в электромагнитном калориметре. Далее требовалось, чтобы две заряженные частицы были идентифицированы как электрон/позитрон, а их эффективная масса была малой (что характерно для конверсий). Эксклюзивный характер отбираемых событий обеспечивался счетчиками охранной системы и требованием соответствия суммарной энергии продуктов реакции (6) энергии пучка. Поскольку  $e^+e^-$  как правило образуются путем конверсии, для выделения взаимодействий в мишени применялся весьма мягкий отбор по

$Z$ -координате восстановленной вершины. Последним условием было соответствие эффективной массы  $M(e^+e^-\gamma)$  массе  $\pi^0$ -мезона.

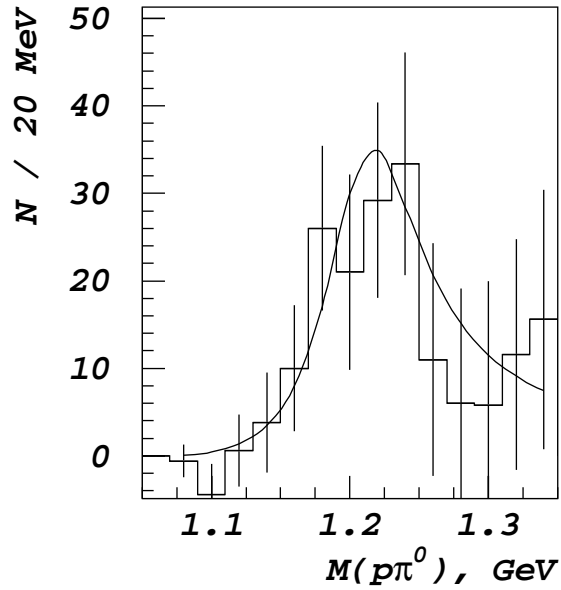


Рис. 4. Спектр эффективных масс системы  $p\pi^0$ , образуемой в эффекте Примакова. Кривая — описание распределением Брейта-Вигнера со стандартными параметрами  $\Delta(1232)$ .

Разрешение установки по переданному импульсу не позволяет непосредственно выделить кулоновское образование  $\Delta(1232)^+$  на фоне доминирующего процесса — дифракционного рождения системы  $p\pi^0$  на ядре. Поэтому для получения распределения по эффективной массе  $M(p\pi^0)$  была применена стандартная процедура вычитания фона с использованием контрольных полос (по  $p_T^2$ ). Результирующее распределение показано на рис. 4. В этом распределении виден пик, который описывался посредством ожидаемого для образования  $\Delta(1232)^+$  в эффекте Примакова распределения.

При этом масса и полная ширина  $\Delta(1232)$  были фиксированы в соответствии с мировыми средними значениями. Полученное описание вполне удовлетворительно, что экспериментально демонстрирует возможность регистрации процессов кулоновского образования на установке СФИНКС.

**В третьей главе** приводится описание эксперимента E781 (FNAL, США) и экспериментальной установки SELEX. Все исследования, описанные в последующих главах диссертации, были выполнены на этой установке.

Основная цель эксперимента E781 заключается в поиске и исследовании очарованных барионов, их распадов и характеристик образования в широком кинематическом диапазоне  $x_F > 0.1$ . Установка SELEX представляла собой универсальный трехступенчатый магнитный спектрометр, способный регистрировать и идентифицировать как заряженные, так и нейтральные частицы. Ключевым элементом установки являлась система прецизионных микростриповых детекторов (на момент набора статистики она была самой большой в мире). Это позволяет провести ряд дополнительных исследований, в частности измерения некоторых процессов кулоновского образования адронов в поле ядра.

Общая схема установки показана на рис. 5. Для формирования вторичного пучка протоны с энергией 800 ГэВ направлялись на бериллиевую мишень, расположенную в начале гиперонного канала с номинальным значением импульса 650 ГэВ. Гиперонный пучок состоял из примерно одинаковых долей  $\Sigma^-$  и  $\pi^-$  и имел интенсивность  $0.6 \cdot 10^6$  частиц в секунду. Пучковые частицы, после идентификации посредством детектора переходного излучения и измерения системой микростриповых детекторов, падали на сегментированную мишень. Мишень состояла из двух медных и трех алмазных фольг, расположенных на расстоянии 1.5 см друг от друга. В течение короткого промежутка времени была установлена также свинцовая мишень.

Заряженные треки, возникшие в результате взаимодействий в мишенях установки, измерялись сначала системой вершинных микростриповых детекторов, а после отклонения спектрометрическими

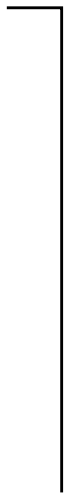


Рис. 5. Схема установки SELEX.

магнитами — пропорциональными и дрейфовыми камерами. Для их идентификации применялись черенковский детектор с регистрацией кольца излучения и детектор переходного излучения. Для регистрации нейтральных частиц использовались три фотонных детектора на основе свинцового стекла и адронный калориметр.

Выработка триггерных решений осуществлялась с помощью сцинтилляционных счетчиков, использовавшихся для выделения пучковой частицы и взаимодействий в мишени, а также для подавления гало пучка и взаимодействий в веществе установки до мишени. Сцинтилляционные годоскопы использовались для выделения процессов с определенной множественностью заряженных частиц в конечном состоянии. В триггере для изучения эксклюзивных процессов требовалось срабатывание трех каналов годоскопа HOD1, а также применялись охранные счетчики в области годоскопа HOD2. Для проведения калибровок и специальных измерений использовался также "пучковый" триггер, в выработке которого принимали участие только расположенные до мишени детекторы.

Система сбора данных позволяла принимать до 100 000 событий со средним объемом данных  $\sim 5$  К при цикле работы ускорителя 60 секунд, из которых продолжительность пучка составляла 20 секунд. Для сокращения объема записываемых на магнитные носители данных был создан программный фильтр. В нем использовались достаточно мягкие критерии отбора событий, не оказывающие влияния на последующий анализ, но тем не менее обеспечившие уменьшение объема данных в 1.5–2 раза.

**В четвертой главе** описывается измерение радиационной ширины  $a_2(1320)$ -мезона, выполненное на основе эффекта Примакова. Обсуждаются предыдущие измерения этой величины, приводится теоретическое описание когерентного образования частиц в электромагнитном и сильном взаимодействии на ядре, детально излагается анализ данных, проводится сравнение полученного результата с модельными предсказаниями.

Регистрация кулоновского образования  $a_2(1320)^-$ -мезона проводилась по его распаду на три заряженных пиона. Таким образом,

изучалась реакция

$$\pi^- + A \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- + A, \quad (7)$$

Исследования выполнены при энергии пучка 600 ГэВ с использованием трех ядер: С, Си и Рь.

Для выделения реакции (7) отбирались события с реконструированными пучковым и тремя вторичными треками с суммарным зарядом  $Q = -1$ . Далее применялись следующие критерии отбора:

1. Событие удовлетворяет номинальным требованиям триггера.
2. Пучковая частица идентифицирована пучковым детектором переходного излучения как пион.
3. Треки образуют хорошую вершину, находящуюся в области одной из мишеней.
4. Эксклюзивность события (соответствие суммарной энергии вторичных частиц энергии пучка, отсутствие энерговыделения в первом фотонном детекторе РНТ1).

В распределениях по квадрату переданного импульса  $p_T^2$  для отобранных событий наблюдались передние пики, соответствующие дифракционному образованию на ядрах, а в области очень малых значений  $p_T^2 \lesssim 0.001 \text{ ГэВ}^2$  — дополнительный избыток событий. Анализ наклонов и чисел событий на разных ядрах показал, что этот избыток, по крайней мере частично, обусловлен процессом кулоновского образования. Большая статистика и хорошее разрешение по переданному импульсу позволили осуществить вычитание дифракционного фона. Полученные распределения показаны на рис. 6. На всех ядрах наблюдается пик, соответствующий электромагнитному образованию  $a_2$ -мезона.

Чтобы связать наблюдаемое в эксперименте распределение с теоретическими выражениями для сечения кулоновского образования, необходимо произвести нормировку сечений, учесть эффективность регистрации и разрешение по переданному импульсу. Пересчет сечений в наблюдаемое число событий осуществлялся методом относительной нормировки на процесс дифракционного образования трех



пионов, абсолютное сечение которого было измерено также на установке SELEX, но в данных с другим триггером. Этому измерению посвящена глава 6 диссертации. Для расчетов эффективности и разрешения по переданному импульсу использовалось моделирование методом Монте-Карло. Программа моделирования была основана на пакете GEANT-3.21. Для правильного описания разрешения по переданному импульсу изучались распады присутствовавших в пучке  $\Xi^-$ -гиперонов

$$\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-, \quad \Lambda \rightarrow p\pi^-. \quad (8)$$

В результате такого каскада образуются три заряженные частицы (как и в реакции (7)), имеющие нулевой переданный импульс по отношению к пучковому треку. Это позволило точно настроить моделирование разрешения.

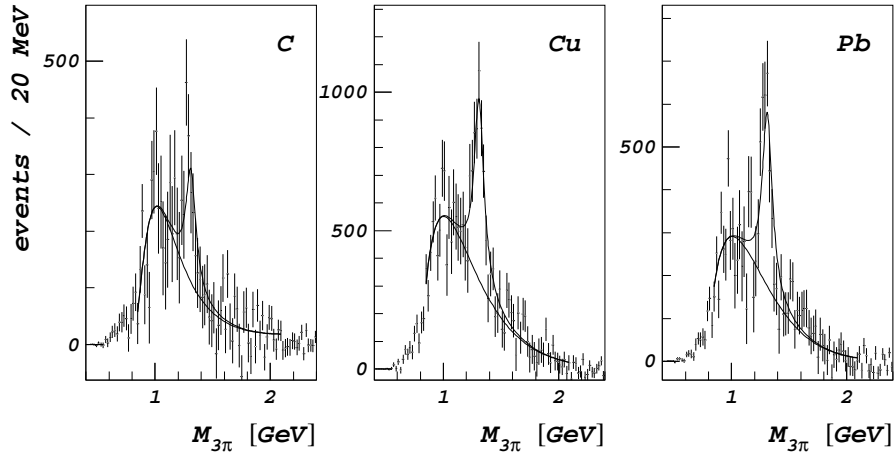


Рис. 6. Спектр эффективных масс  $M(3\pi)$  в реакции (7), полученный в результате вычитания вклада дифракции. Кривыми показаны результаты описания гладким фоном и  $a_2$ -мезоном с табличными значениями массы и ширины. Доминирующую роль в образовании  $a_2$ -мезона играет электромагнитный механизм.

При фитировании спектров эффективных масс форма сигнала  $a_2$ -мезона описывалась ожидаемым в кулоновском рождении распределением с параметрами массы и полной ширины, фиксированными мировыми средними значениями. Для учета фона использовалось два метода. Примеры описания спектра эффективных масс  $M(3\pi)$  для одного из них показаны на рис. 6. В полученные в результате фита значения были внесены поправки на ожидаемые вклады сильного взаимодействия. Полученные результаты были достаточно стабильны по отношению к вариациям  $p_T^2$ -интервалов, использованных для учета дифракционного фона.

Анализ систематических ошибок измерения показал, что в результатах, полученных на разных мишенях, они полностью либо частично коррелируют. Поэтому результаты, полученные на всех мишенях, были усреднены с использованием только статистических ошибок. Источники систематических ошибок и их вклады в систематическую ошибку усредненного результата приведены в таблице 1.

Таблица 1. Систематические ошибки в определении  $\Gamma[a_2^- \rightarrow \pi^- \gamma]$ .

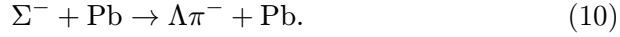
Источник ошибки	Величина
Абсолютная нормировка	5%
Разрешение по переданному импульсу	1.8%
Точность вычисления формфактора $ F_C(q^2) ^2$	1%
Образование $a_2$ в сильных взаимодействиях	
Квадратичный член	1.5%
Интерференционный член	4.5%
Табличные параметры $a_2$ -мезона	
Масса	0.35%
Ширина	3.4%
Относительная вероятность распада на $\rho\pi$	3.8%
Итого	8.8%

В итоге окончательное значение радиационной ширины  $a_2$ -мезона составило

$$\Gamma [a_2(1320)^- \rightarrow \pi^- \gamma] = 284 \pm 25 \pm 25 \text{ кэВ} \quad (9)$$

Это является самым точным измерением в мире.

**В пятой главе** описываются поиски электромагнитного образования  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона с целью измерения его радиационной ширины. Регистрация  $\Sigma(1385)^-$  происходила по распаду на  $\Lambda\pi^-$  и могла быть выполнена только в данных, полученных на свинцовой мишени. Таким образом, изучалась реакция



Приводятся теоретические предсказания  $\Gamma[\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^- \gamma]$  и результат единственного предыдущего измерения. Описываются отбор событий системы  $\Lambda\pi^-$ , исследование возможных фоновых процессов, вспомогательные расчеты эффективности регистрации и разрешения по переданному импульсу, фитирование спектра эффективных масс  $M(\Lambda\pi^-)$  и определение верхнего предела. Далее описывается изучение механизма образования  $\Lambda\pi^-$ , показывается доминирование электромагнитного образования в области  $M \lesssim 1.45 \text{ ГэВ}$  и определяется сечение фоторождения  $\Lambda\pi^-$  на  $\Sigma^-$ .

Для выделения реакции (10) отбирались события с реконструированными пучковым треком и тремя треками после мишени, из которых один должен был быть положительно заряженным, а два — отрицательно заряженными. Пучковая частица должна была быть идентифицирована детектором переходного излучения как барион. Эксклюзивный характер отбираемых событий обеспечивали отборы по суммарной энергии вторичных частиц и по энерговыделению в первом фотонном детекторе. Для восстановления  $\Lambda$ -гиперона требовалось, чтобы положительно заряженный трек образовывал хорошую вершину (далее называемую вторичной) с одним из отрицательно заряженных треков, а при приписывании им масс  $p$  и  $\pi^-$  эффективная масса  $M(p\pi^-)$  соответствовала массе  $\Lambda$ . Затем, с использованием оставшегося отрицательно заряженного трека, пучкового трека и трека восстановленного  $\Lambda$ -гиперона, определялась

первичная вершина взаимодействия. Требовалось, чтобы она находилась в области свинцовой мишени.

Для изучения фоновых процессов, способных вызывать или имитировать рождение  $\Lambda\pi^-$  при малых переданных импульсах, изучались события с первичной вершиной вне свинцовой мишени. В результате было экспериментально показано, что в области эффективных масс  $1.305 < M(\Lambda\pi^-) < 1.34$  ГэВ доминирует фоновый процесс, обусловленный распадами присутствовавших в пучке на уровне  $\approx 1\%$   $\Xi^-$ -гиперонов, а вне этой области вклад фоновых процессов пренебрежимо мал. Поэтому указанная область была исключена из последующего анализа.

Распределение событий по эффективной масс  $M(\Lambda\pi^-)$  для очень малых переданных импульсов  $p_T^2 < 0.001$  ГэВ<sup>2</sup>, с исключенным интервалом  $1.305 < M(\Lambda\pi^-) < 1.34$  ГэВ, показано на рис. 7. В этом спектре отсутствует четкий пик, который бы соответствовал образованию  $\Sigma(1385)^-$ , поэтому устанавливается верхний предел на радиационную ширину этого гиперона. Все требующиеся для этого вспомогательные процедуры (вычисление сечения, относительная нормировка, определение эффективности и разрешения по переданному импульсу) по сути аналогичны процедурам, применявшимся при определении радиационной ширины  $a_2(1320)$ -мезона. Из существенных особенностей следует отметить учет относительного содержания  $\Sigma^-$  и  $\pi^-$  в пучке при проведении относительной нормировки, и описание углового распределения для системы  $\Lambda\pi^-$  при определении эффективности. В приближении магнитно-дипольного перехода в распаде  $\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^-\gamma$  для этого распределения было получено выражение

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim 1 + 3 \sin^2 \theta \sin^2 \phi. \quad (11)$$

При описании спектра масс на рис. 7 для искомого резонанса использовалась ожидаемая в эффекте Примакова зависимость, свернутая с экспериментальным разрешением. При этом масса и полная ширина  $\Sigma(1385)^-$  были фиксированы равными мировым средним значениям. Фон описывался гладкой функцией, зануляющейся на пороге. Результаты фита были устойчивы по отношению к неболь-

шим вариациям критериев отбора, но заметно зависели от способа описания фона. Для нахождения верного предела использовался дающий более высокое значение вариант. Пример описания спектра масс показан на рис. 7. В итоге для радиационной ширины  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона получено самое низкое в мире ограничение

$$\Gamma [\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^- \gamma] < 9.5 \text{ кэВ} \quad (90\% \text{ CL}). \quad (12)$$

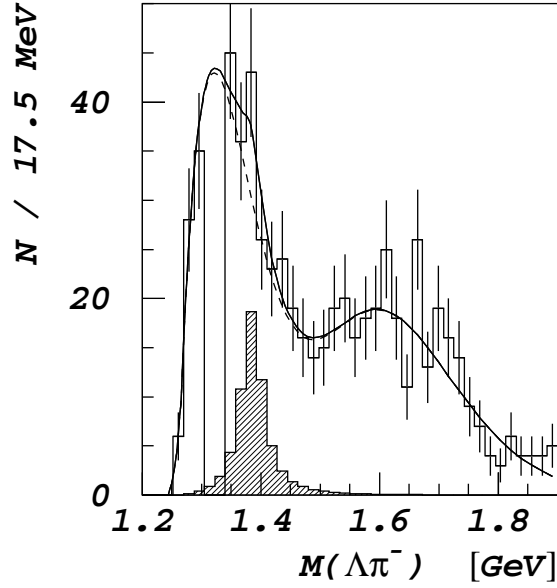


Рис. 7. Распределение событий по эффективной массе  $M(\Lambda\pi^-)$  в реакции  $\Sigma^- + \text{Pb} \rightarrow \Lambda\pi^- + \text{Pb}$ . Область  $1.305 < M < 1.340$  ГэВ, в которой доминируют распады  $\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ , исключена из рассмотрения. Описание распределения суммой возможного сигнала  $\Sigma(1385)^-$  и фона показано сплошной линией, фон — штриховой. Заштрихованное распределение соответствует полученному на 90%-ном уровне достоверности ограничению.

В этом измерении доминируют статистическая неопределенность и неопределенность, связанная с описанием фона под гипотетическим резонансным сигналом. Другие систематические ошибки в сумме не превышают 8%.

Несмотря на отсутствие значимых свидетельств электромагнитного образования  $\Sigma(1385)^-$ , в гистограмме на рис. 7 имеется несколько сотен событий  $\Lambda\pi^-$ . Это позволило провести исследование механизма образования указанной системы. Для этого сначала было построено распределение по эффективной массе  $M(\Lambda\pi^-)$ , характерное для дифракционного образования. В полученном распределении отсутствовал избыток событий в области малых эффективных масс  $M \lesssim 1.45$  ГэВ. Затем были построены распределения по  $p_T^2$  для  $M < 1.45$  ГэВ и  $M > 1.45$  ГэВ. В обоих распределениях наблюдался передний пик, но с разными наклонами:  $b = -430 \pm 35$  ГэВ<sup>-2</sup> для  $M > 1.45$  ГэВ, что характерно для померонного обмена на ядре свинца, и  $b = -970 \pm 80$  ГэВ<sup>-2</sup> для  $M < 1.45$  ГэВ. Это значение существенно больше, чем в дифракционном образовании, но совместимо, с учетом экспериментального разрешения, с кулоновским образованием. Из вышеизложенного следует, что в области эффективных масс  $M(\Lambda\pi^-) < 1.45$  ГэВ доминирует электромагнитный механизм образования.

Это позволило впервые определить сечение реакции фоторождения на  $\Sigma^-$ -гипероне

$$\sigma[\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-] \Big|_{\sqrt{s} \approx 1.385 \text{ ГэВ}} = 56 \pm 12 \pm 11 \text{ мкб.}$$

Знание этого сечения весьма полезно для планирования будущих измерений процессов кулоновского образования в  $\Sigma^-$ - и  $\Sigma^+$ -пучках.

**В шестой главе** описывается определение сечения дифракционного образования  $\pi^+\pi^-\pi^-$  на ядре углерода в пучке  $\pi^-$ -мезонов с энергией 600 ГэВ в экспериментальных данных, полученных на установке SELEX. Обосновывается необходимость выполнения данных измерений на установке SELEX, дается характеристика имеющимся данным, приводятся анализ и полученное значение сечения.

Определение абсолютных сечений кулоновского образования  $a_2$ -мезона и  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона осуществлялось по отношению к сечению дифракционного образования трех пионов. Других измерений этой величины при энергии 600 ГэВ нет. Нет также и надежных данных при близких энергиях, которые могли бы быть использованы для экстраполяции. В частности, измеренные при энергии 200 ГэВ сечения дифракционного образования трех пионов на ядре углерода в положительном и отрицательном пучках значительно отличаются друг от друга, что свидетельствует о проблемах в одном или обоих экспериментах. Измерить сечение дифракционного образования трех пионов в эксперименте SELEX было желательно также и с методологической точки зрения, чтобы полученные результаты по радиационным ширинам были максимально независимы от измерений в других экспериментах. Анализ показал, что для нормировок достаточно было выполнить измерение на любом из трех ядер: углеводе, меди, свинце.

Существенной особенностью измерения сечения дифракционного образования трех пионов явилось то, что оно было выполнено в данных с т.н. пучковым триггером, в котором использовались только расположенные перед мишенями детекторы. Выполнить такое фактически бестриггерное измерение оказалось возможным благодаря достаточно большому искомому сечению и высокопроизводительной системе сбора данных.

С пучковым триггером были сделаны две весьма различные экспозиции. Одна из экспозиций состояла из коротких запусков, периодически делавшихся для проведения калибровок на протяжении всего сеанса. Другая экспозиция была предназначена для измерения полных сечений и характеризовалась следующими отличиями: низкой интенсивностью пучка, повышенной частотой сброса микростриповых детекторов, применением специальных мишеней и отсутствием поля в магните M1. Наибольшая статистическая точность могла быть получена для углерода, поэтому это ядро было выбрано для последующих нормировок. Параллельно проводился анализ для ядра меди для проверки согласованности результатов.

Отбор событий в обеих экспозициях был практически одинаков,

отличия заключались лишь в численных значениях применяемых критериев. На первом этапе отбирались события с реконструированным пучковым треком, который был идентифицирован пучковым детектором переходного излучения как пион. Эти события составляли монитор (число налетающих на мишень частиц). Далее требовалось, чтобы в событии было реконструировано три трека с суммарным зарядом  $Q = -1$ , образующие хорошую вершину в области мишени. Для подавления фона от процессов с дополнительными нереконструированными частицами требовалось выполнение условия квазиупругости (соответствия суммы энергий вторичных частиц энергии пучка), а также налагались ограничения на энерговыделение в первом фотонном детекторе и количество дополнительных сегментов в вершинном детекторе, которые могли быть интерпретированы как вылетающие из вершины взаимодействия.

В последующем анализе эффективная масса  $3\pi$ -системы была ограничена областью  $0.8 < M(3\pi) < 1.5$  ГэВ. В этой области в образовании  $3\pi$ -системы доминирующий вклад вносит  $\rho\pi$  в парциальной волне  $1^+S_0^+$  (используются обозначения  $J^P L M^\eta$ ), что позволяет надежно определить эффективность регистрации. По проведенным оценкам, ошибка в определении эффективности из-за вклада других парциальных волн не превышает 4%.

Распределение событий по квадрату переданного импульса  $p_T^2$  представлено на рис. 8. В этом распределении четко виден передний пик, соответствующий когерентному образованию на ядре. В данной работе, по определению, число событий в этом пике соответствует сечению дифракционного образования.

Как видно из рис. 8, распределение по  $p_T^2$  удовлетворительно описывается суммой двух экспонент. Для проверки того, что выбранные "стандартные" критерии отбора не приводят к неконтролируемой отбраковке событий, был проведен анализ для более "широких" допустимых интервалов. Для проверки стабильности извлекаемого числа событий в когерентном пике проводилось определение искомой величины для различных разбиений гистограммы на бины и используемых в фите областей переданных импульсов. Все вариации были значительно ниже статистической ошибки измерения.



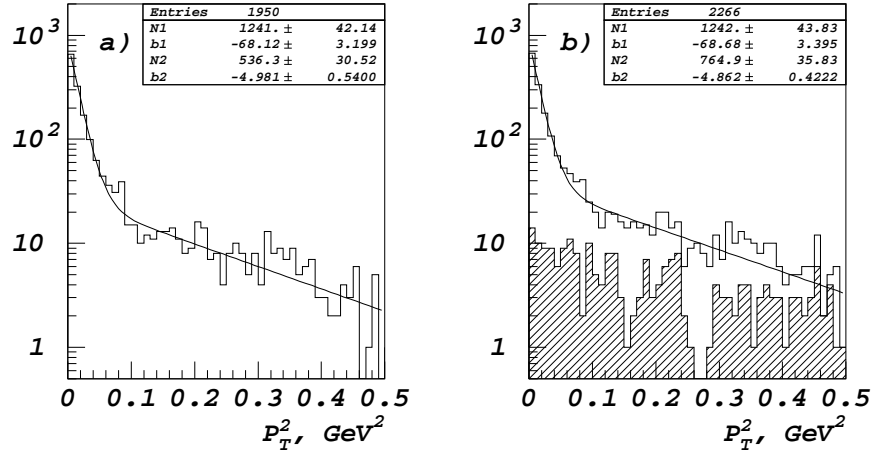


Рис. 8. Распределение событий по квадрату поперечного переданного импульса при "стандартных" (а) и "широких" (б) критериях отбора. Распределение для отброшенных "стандартными" отборами событий показано штриховкой.

При определении сечения в экспозиции с низкой интенсивностью было получено значение  $\sigma_{\text{diff}}^{(1)}(C) = 2.668 \pm 0.100$  мб. Анализ данных экспозиции со стандартными условиями набора статистики показал, что получаемое сечение падает с ростом интенсивности пучка. После проведения экстраполяции к нулевой интенсивности было получено значение  $\sigma_{\text{diff}}^{(2)}(C) = 2.393 \pm 0.138$  мб.

Аналогичным образом были определены сечения для ядра меди. Полученные значения имели большие ошибки, и, в пределах этих ошибок, согласовывались друг с другом. Отношения сечений на меди и углероде, определенные в обеих экспозициях и в триггерных данных, также согласовывались между собой. Это свидетельствует об отсутствии каких-либо значительных неучтенных источников ошибок.

Оба результата для ядра углерода были усреднены. Поскольку полученное значение  $\chi^2/\text{ст.св.}$  несколько превышало единицу, то,

в соответствии с общепринятой практикой, ошибка была масштабирована в  $\sqrt{\chi^2/\text{ст.св.}}$  раз. Полученное в итоге значение сечения дифракционного образования трех пионов

$$\sigma_{\text{diff}}(\text{C}) = 2.57 \pm 0.13 \text{ мб} \quad (13)$$

имеет относительную точность 5%.

**В заключении** кратко сформулированы основные результаты диссертации.

1. На установке ЛЕПТОН-Ф проведено исследование радиационного распада  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ , детектируемого в реакции перезарядки  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma + n$ . Выработаны критерии отбора, позволяющие подавлять фоновые процессы. Для дальнейшего анализа отобрана выборка событий, содержащая примерно 2000  $\eta'$ -мезонов, что являлось наибольшей статистикой в мире на момент проведения анализа данных.
2. Проведен анализ углового распределения в распаде  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ . Из законов сохранения следует, что квантовые числа  $\pi^+\pi^-$ -пары в этом распаде могут принимать значения  $J^{PC} = 1^{--}, 3^{--}, \dots$ , а проекция орбитального момента на направление движения фотона — значения  $M = \pm 1$ , что определяет вид угловых распределений. Обнаружено, что экспериментальное распределение согласуется со значением  $J = 1$  для  $\pi^+\pi^-$ -пары. Получена верхняя оценка интегрального вклада амплитуды с  $J = 3$  в этот распад:  $\simeq 6\%$  на 95%-ном уровне достоверности.
3. Исследован спектр эффективных масс  $\pi^+\pi^-$ -пары в распаде  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ . Проведено описание этого спектра в рамках наивной модели каскадного распада через виртуальный  $\rho$ -мезон с использованием различных способов параметризации формы  $\rho$ -мезона. Показано, что в этой модели невозможно получить удовлетворительное описание экспериментального спектра. Показано, что учет возможных вкладов других векторных мезонов также не приводит к удовлетворительному описанию данных. Для объяснения наблюдаемого расхождения предложено

использовать распад в конечное состояние без образования промежуточного резонанса; получено выражение для амплитуды такого распада. Показано, что введение этой амплитуды значительно улучшает описание данных. В результате сделан вывод о существенном вкладе в исследуемый распад нерезонансного механизма.

Обнаружение нерезонансного вклада стимулировало дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования этого распада. В теоретических работах этот эффект был интерпретирован как проявление "квадратной" аномалии, и впоследствии подтвержден в другом эксперименте. В настоящее время имеется несколько подходов к описанию распада  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ , основанных на киральной теории возмущений.

4. В связи с предложенным механизмом образования криптоэкзотических барионов в электромагнитных взаимодействиях проведен анализ возможностей установки СФИНКС для наблюдения процессов кулоновского образования адронов. Показано, что лучшим кандидатом для наблюдения кулоновского образования на имеющейся статистике является образование  $\Delta(1232)^+$  в эффекте Примакова. При этом изобара  $\Delta(1232)^+$  должна регистрироваться по распаду на  $p\pi^0$ , а  $\pi^0$  должен выделяться по конечному состоянию  $e^+e^-\gamma$ .
5. Проведен анализ данных трехчастичного триггера установки СФИНКС, выделен процесс эксклюзивного образования системы  $p\pi^0$ , получено распределение по эффективной массе  $M(p\pi^0)$ , соответствующее кулоновскому образованию этой системы. В этом распределении присутствует пик в области масс 1.23 ГэВ. Указанный пик хорошо описывается распределением, ожидаемым для образования  $\Delta(1232)^+$  в эффекте Примакова, с табличными значениями массы и полной ширины этого резонанса. Это доказывает принципиальную возможность регистрации процессов электромагнитного образования на установке СФИНКС.
6. Создано программное обеспечение для реконструкции, анализа и моделирования эксклюзивных процессов на установке

SELEX, для теоретических расчетов процессов электромагнитного образования резонансов.

7. Проведен анализ эксклюзивного образования  $\pi^+\pi^-\pi^-$ -системы в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при энергии 600 ГэВ. Использование специальных экспозиций с пучковым триггером позволило определить сечение дифракционного образования этой системы с 5%-ной точностью:

$$\sigma_{\text{diff}}(C) = 2.57 \pm 0.13 \text{ мб.}$$

Это сделало возможным использование указанного процесса для относительной нормировки сечений в основанных на эффекте Примакова исследованиях: измерении радиационной ширины  $a_2(1320)$ -мезона и поисках электромагнитного образования  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона. Указанный процесс может также использоваться для нормировки других измерений процессов кулоновского образования в эксперименте SELEX.

8. Проведен анализ распадов пучковых  $\Xi^-$ -гиперонов. Выделено примерно 6800 событий распадов  $\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ . Измеряемый переданный импульс в этом процессе определяется только разрешением установки, что позволило определить эту величину экспериментально. Полученные значения разрешения по переданному импульсу в распадах  $\Xi^-$  послужили опорной точкой при определении разрешения в электромагнитном образовании  $a_2(1320)$ -мезона и использовались для расчетов ожидаемых сигналов в эффекте Примакова.
9. Проведен анализ процесса эксклюзивного образования  $\pi^+\pi^-\pi^-$ -системы в  $\pi^-C$ -,  $\pi^-Si$ - и  $\pi^-Pb$ -взаимодействиях при энергии 600 ГэВ. В этой системе в области малых переданных импульсов выделен процесс образования  $a_2(1320)$ -мезона, в котором доминирует электромагнитный механизм. С использованием формализма эффекта Примакова определена ширина радиационного распада этого мезона:

$$\Gamma [a_2(1320)^- \rightarrow \pi^- \gamma] = 284 \pm 25 \pm 25 \text{ кэВ.}$$

Данное измерение имеет полную относительную неопределенность 12.5% и до сих пор является лучшим в мире.

10. Проведен анализ процесса эксклюзивного образования  $\Lambda\pi^-$ -системы в  $\Sigma^-Pb$ -взаимодействиях при энергии 600 ГэВ. Показано, что в области малых переданных импульсов вклад фоновых процессов, связанных с распадами всех типов пучковых частиц, пренебрежимо мал. С использованием формализма эффекта Примакова получен верхний предел на парциальную ширину радиационного распада  $\Sigma(1385)^-$ -гиперона

$$\Gamma[\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^-\gamma] < 9.5 \text{ кэВ} \quad (90\% \text{ CL}).$$

Этот предел более чем в два раза улучшил единственное предыдущее измерение.

11. Исследован механизм образования  $\Lambda\pi^-$ -системы в  $\Sigma^-Pb$ -взаимодействиях при переданных импульсах  $p_T^2 < 0.001 \text{ ГэВ}^2$ . Показано, что в области эффективных масс  $M \lesssim 1.45 \text{ ГэВ}$  в образовании  $\Lambda\pi^-$ -системы доминирует электромагнитный механизм. Таким образом, это является первым наблюдением электромагнитного образования  $\Lambda\pi^-$ . С использованием формализма эффекта Примакова оценено сечение фоторождения  $\Lambda\pi^-$  на  $\Sigma^-$ :

$$\sigma[\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-] \Big|_{\sqrt{s} \approx 1.385 \text{ ГэВ}} = 56 \pm 12 \pm 11 \text{ мкб.}$$

Измерения сечения фоторождения на  $\Sigma^-$  существенно для планирования новых экспериментов. Полученная величина сечения означает, что основным фоновым процессом при измерении радиационной ширины  $\Sigma(1385)^-$  в эффекте Примакова является нерезонансное образование  $\Lambda\pi^-$ , и его сечение превышает сечение резонансного образования. Таким образом, для измерения  $\Gamma[\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^-\gamma]$  в эффекте Примакова требуется значительно бóльшая статистика, чем предполагалось ранее.

При естественном предположении, что нерезонансные сечения реакций  $\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-$  и  $\gamma\Sigma^+ \rightarrow \Lambda\pi^+$  сравнимы, можно сделать выводы о возможностях измерения ширины радиационного распада  $\Sigma(1385)^+$ -гиперона. Поскольку этот распад не подавлен сохранением  $U$ -спина, его парциальная ширина значительно выше ширины  $\Sigma(1385)^-$  (предсказания находятся на

уровне 100 кэВ). Поэтому измерение радиационной ширины  $\Sigma(1385)^+$  на основе эффекта Примакова представляется относительно простой задачей.

**В приложении** приведен полный список авторов работ [4,5].

### Список литературы

- [1] S.I. Bityukov, G.V. Borisov, V.A. Dorofeev, R.I. Dzhelyadin, S.V. Golovkin, M.V. Gritsuk, A.S. Konstantinov, V.P. Kubarovsky, N.Yu. Kulman, A.I. Kulyavtsev, V.F. Kurshetsov, L.G. Landsberg, V.V. Lapin, V.V. Molchanov, V.A. Mukhin, Yu.B. Novozhilov, V.F. Obraztsov, V.I. Solyanik, V.A. Viktorov, A.M. Zaitsev.  
"Study of the radiative decay  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ ".  
Z. Phys. **C50** (1991) 451–454.
- [2] С.И. Битюков, Г.В. Борисов, В.А. Викторов, В.А. Дорофеев, Р.И. Дзелядин, С.В. Головкин, М.В. Грицук, А.М. Зайцев, А.С. Константинов, В.П. Кубаровский, Н.Ю. Кульман, А.И. Кулявцев, В.Ф. Куршецов, Л.Г. Ландсберг, В.В. Лапин, В.В. Молчанов, В.А. Мухин, Ю.Б. Новожилов, В.Ф. Образцов, В.И. Соляник.  
"Исследование радиационного распада  $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$  и поиск редкого радиационного распада  $D/f_1(1285) \rightarrow \rho\gamma$ ".  
ЯФ **54** (1991) 529–537.
- [3] Д.В. Вавилов, В.П. Кубаровский, В.Ф. Куршецов, Л.Г. Ландсберг, В.В. Молчанов.  
"Электромагнитные механизмы образования экзотических барионов".  
ЯФ **62** (1999) 501–512.
- [4] V.V. Molchanov et al., SELEX Collaboration.  
"Radiative decay width of the  $a_2(1320)^-$  meson".  
Phys. Lett. **B521** (2001) 171–180.  
Полный список авторов этой работы приведен в приложении.

- [5] V.V. Molchanov et al., SELEX Collaboration.  
 "Upper limit on the decay  $\Sigma(1385)^- \rightarrow \Sigma^-\gamma$ , and cross section for  $\gamma\Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ ".  
 Phys. Lett. **B590** (2004) 161–169.  
 Полный список авторов этой работы приведен в приложении.
- [6] V.V. Molchanov (for SELEX Collaboration).  
 "Radiative decay width of the  $a_2(1320)$  meson".  
 AIP Conf. Proc. **619** (2002) 835–838.

**Приложение: участники сотрудничества SELEX,  
 являющиеся авторами работ [4,5]**

G.P. Thomas (Ball State University, Muncie, IN 47306, U.S.A.),  
 E. Gülmez (Bogazici University, Bebek 80815 Istanbul, Turkey),  
 R. Edelstein, S.Y. Jun, A.I. Kulyavtsev, A. Kushnirenko, D. Mao,  
 P. Mathew, M. Mattson, M. Procario, J. Russ, J. You (Carnegie-Mellon  
 University, Pittsburgh, PA 15213, U.S.A.), A.M.F. Endler (Centro  
 Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, Brazil), P.S. Cooper,  
 J. Kilmer, S. Kwan, J. Lach, E. Ramberg, D. Skow, L. Stutte (Fermilab,  
 Batavia, IL 60510, U.S.A.), A.P. Kozhevnikov, V.P. Kubarovsky,  
 V.F. Kurshetsov, L.G. Landsberg, **V.V. Molchanov**, V.A. Mukhin,  
 S.B. Nurushev, S.V. Petrenko, A.N. Vasiliev, D.V. Vavilov, V.A. Victorov  
 (Institute for High Energy Physics, Protvino, Russia), He Kangling,  
 Li Yunshan, Mao Chensheng, Mao Zhenlin, Zhao Wenheng, Zheng Shu-  
 chen (Institute of High Energy Physics, Beijing, P.R. China),  
 M.Y. Balatz, G.V. Davidenko, A.G. Dolgolenko, G.B. Dzyubenko,  
 A.V. Evdokimov, M.A. Kubantsev, I. Larin, V. Matveev, A.P. Nilov,  
 V.A. Prutskoi, A.I. Sitnikov, V.S. Verebryusov, V.E. Vishnyakov  
 (Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia),  
 U. Dersch, I. Eschrich, I. Konorov, H. Krüger, J. Simon, K. Vorwalter  
 (Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69117 Heidelberg, Germany),  
 I.S. Filimonov, E.M. Leikin, A.V. Nemitkin, V.I. Rud (Moscow  
 State University, Moscow, Russia), G. Alkhazov, A.G. Atamantchouk,  
 N.F. Bondar, V.L. Golovtsov, V.T. Kim, L.M. Kochenda, A.G. Krivshich,  
 N.P. Kuropatkin, V.P. Maleev, P.V. Neoustroev, B.V. Razmyslovich,

V. Stepanov, M. Svoiski, N.K. Terentyev, L.N. Uvarov, A.A. Vorobyov (Petersburg Nuclear Physics Institute, St. Petersburg, Russia), I. Giller, M.A. Moinester, A. Ocherashvili, V. Steiner (Tel Aviv University, 69978 Ramat Aviv, Israel), J. Engelfried, A. Morelos (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, Mexico), M. Luksys (Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brazil), V.J. Smith (University of Bristol, Bristol BS8 1TL, United Kingdom), M. Kaya, E. McCliment, K.D. Nelson, C. Newsom, Y. Onel, E. Ozel, S. Ozkorucuklu, P. Pogodin (University of Iowa, Iowa City, IA 52242, U.S.A.), L.J. Dauwe (University of Michigan-Flint, Flint, MI 48502, U.S.A.), D. Casey, T. Ferbel, C. Hammer, P. Slattery, Z.H. Zhu, M. Zielinski (University of Rochester, Rochester, NY 14627, U.S.A.), M. Gaspero, M. Iori (University of Rome “La Sapienza” and INFN, Rome, Italy), L. Emediato, C.O. Escobar, F.G. Garcia, P. Gouffon, T. Lungov, M. Srivastava, R. Zukanovich-Funchal (University of São Paulo, São Paulo, Brazil), A. Lamberto, A. Penzo, G.F. Rappazzo, P. Schiavon (University of Trieste and INFN, Trieste, Italy).

*Рукопись поступила 12 июля 2004 года.*



В.В. Молчанов

Исследование радиационных распадов мезонов и электромагнитного образования адронов в поле ядра.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **ИТ<sub>Р</sub>Х**.

Редактор Л.Ф. Васильева.

---

Подписано к печати 14.07.2004. Формат 60 × 84/8.  
Офсетная печать. Печ.л. 1,86. Уч.-изд.л. 0,71. Тираж 100. Заказ 287.  
Индекс 3649.

---

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

Индекс 3649

---

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 2004-28, И Ф В Э, 2004

---