

1-97-196

7-74

На правах рукописи  
УДК 539.12 + 539.126 +  
+ 539.1.074

ЧЛАЧИДЗЕ  
Гурам Арчилович

ИССЛЕДОВАНИЕ  $X(1450)$ - И  $X(1900)$ -МЕЗОНОВ,  
ОБРАЗОВАННЫХ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ  $pp$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 450 ГэВ/с

Специальность: 01.04.16 — физика ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1997

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

Доктор физико-математических наук

Русакович Н.А.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор

Батусов Ю.А.

Член-корреспондент РАН, доктор  
физико-математических наук

Образцов В.Ф.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ " 1997 г. в \_\_\_\_\_  
часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при  
Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных  
исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ " 1997 г.

Ученый секретарь Специализированного совета  
доктор физико-математических наук, профессор

Батусов Ю.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Экспериментальное изучение мезонов, образованных в центральной области адронных столкновений является актуальным для проверки многих основополагающих положений и важных предсказаний квантовой хромодинамики (КХД). К числу таких предсказаний относится вывод о возможном существовании связанных глюонных состояний - глюболов. Теоретическое описание и расчеты процессов с образованием глюболов весьма затруднены в связи с возникшими в КХД принципиальными трудностями при расчетах в низкоэнергетической области. Результаты таких расчетов отличаются большим разнообразием, часто противоречат друг другу. В подобной ситуации решающее значение приобретает экспериментальное обнаружение и исследование новых частиц, которые лежат за рамками обычной кварковой модели.

Согласно КХД благоприятные условия для образования связанных глюонных состояний существуют в центральной области адронных столкновений ( $x_F \approx 0$ ) при высоких энергиях. Предполагается, что в реакции двойного обмена  $pp \rightarrow p_f(X^0)p$ , при высоких энергиях доминирует двухпромеронный обмен, который в КХД интерпретируется как мультиглюонный процесс.

Важным фактором для экспериментальных поисков глюболов является развитие методики детекторов. Использование ливневого годоскопического детектора в таких экспериментах существенно расширило возможности изучения распадов с  $\pi^0$ -,  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезонами в конечном состоянии.

Не менее актуальным является развитие новых методов триггерного отбора событий. Включение сигналов с электромагнитного калориметра в систему запуска установки в эксперименте WA91 позволило значительно уменьшить содержание упругого  $pp$ -рассеяния в набранном материале.

Работа посвящена изучению эксклюзивной реакции двойного обмена  $pp \rightarrow p_f(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)p$ , при импульсе пучка 450 ГэВ/с. Эксперимент WA91 проведен на  $\Omega$ -спектрометре протонного синхротрона ЦЕРН.

### Цель работы:

- Включение в состав экспериментальной установки детекторов для регистрации фотонов и электронов.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

- Проведение тестовых измерений характеристик электромагнитного калориметра в пучке электронов с энергиями (1-50) ГэВ.
- Создание системы триггерного отбора событий в электромагнитном калориметре.
- Изучение реакции  $pp \rightarrow p_f(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)p_s$  при импульсе 450 ГэВ/с; определение основных параметров  $X(1450)$  и  $X(1900)$  резонансов, наблюдаемых в спектрах эффективных масс ( $4\pi$ ) мезонов.

#### Научная новизна:

- Впервые подробно изучены  $X(1450)$ - и  $X(1900)$ -мезоны, образованные в центральной области  $pp$ -взаимодействия при импульсе 450 ГэВ/с. В результате анализа спектра эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов измерены масса и ширина указанных резонансов, определены их квантовые числа.
- Впервые обнаружена зависимость выхода известных  $\rho^0(770)$ ,  $\eta'$ ,  $f_1(1285)$  и  $f_2(1270)$ -состояний от разности поперечных импульсов обменных частиц в процессе двойного обмена  $pp \rightarrow p_f(X^0)p_s$ . Данный эффект указывает на существование корреляций между обменными вершинами в процессах двухпомеронного обмена.

#### Практическая ценность работы заключается в том, что

- Получены масса, ширина и квантовые числа  $X(1450)$ -резонанса, дополнив тем самым ряд уже обнаруженных в данной области масс скалярных мезонов, рассматриваемых как кандидаты в экзотические состояния.
- Обнаружен кинематический способ выделения экзотических (не- $q\bar{q}$ ) состояний на фоне обычных мезонов в процессах центрального рождения мезонов при высоких энергиях, когда преобладает механизм двухпомеронного обмена.
- Успешно внедрен в состав  $\Omega$ -спектрометра комплекс детекторов, обеспечивающих определение кинематических параметров  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезонов с высокой точностью. Исследованы основные характеристики детекторов в составе данного комплекса.
- Создана система триггерного отбора событий в электромагнитном калориметре. Система отбирает события с определенным числом электромагнитных ливней с энергиями больше заданного порога. Включение сигналов

- с калориметра в систему запуска установки в эксперименте WA91 обеспечило значительное подавление событий упругого  $pp$ -рассеяния.
- Создана триггерная система для отбора электронов и фотонов с большим поперечным импульсом. Указанные триггерные системы и разработанные для них специализированные быстродействующие электронные модули в стандарте КАМАК могут пригодиться в многочисленных опытах, где используются ячеистые калориметры.

#### Автор защищает:

1. Экспериментальные результаты: измерение массы и ширины, а также квантовых чисел  $X(1450)$ - и  $X(1900)$ -мезонов, образованных в центральной области  $pp$ -взаимодействия при импульсе 450 ГэВ/с.
2. Результаты экспериментального исследования характеристик ливневого годоскопического детектора в пучке электронов с энергиями (1-50) ГэВ.
3. Создание системы триггерного отбора событий в электромагнитном калориметре.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертации докладывались на международном совещании *Адроны'93* в Италии и на 27-ой Международной конференции по физике высоких энергий в Шотландии (*ICHEP'94*), на научных семинарах ЛЯП ОИЯИ и на рабочих совещаниях коллаборации WA91 (ЦЕРН); опубликованы в виде статей в журналах "Nuovo Cimento", "Physics Letters", а также в виде публикации ЦЕРН и ОИЯИ.

Диссертация написана на основе научных работ, выполненных с участием автора в 1991-1996 гг. в ЛЯП ОИЯИ и ЦЕРН. Основные результаты изложены в 6 публикациях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, в котором приводятся основные выводы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана важность и актуальность работы, сформулированы цели работы, отмечена ее новизна и практическая ценность. Пере-

числены основные проблемы, возникающие при постановке экспериментов по поиску экзотических частиц и приведены возможные пути их решения.

В первой главе диссертации приведено обоснование поисков связанных глюонных состояний в центральной области адронных столкновений. Исследования в эксперименте WA91 проводились в эксклюзивной реакции двойного обмена



при импульсе пучка 450 ГэВ/с. Здесь  $p_f$  и  $p_s$  - "быстрый" и "медленный" протоны в лабораторной системе отсчета, а  $X^0$  - исследуемая мезонная система. Показано, что в реакции (1) двухмерный обмен становится преобладающим при высоких энергиях в СЦМ, квазиупругом рассеянии исходных частиц с  $|x_F| \geq 0.9$  и образовании мезонов в центральной области с  $|x_F| \approx 0$ , а также при малых переданных четырехимпульсах в обменных вершинах. Обмен помероном в КХД интерпретируется как мультиглюонный обмен, и следовательно, в таких событиях повышена вероятность образования глобулов.

Описана постановка эксперимента WA91 на  $\Omega$ -спектрометре протонного синхротрона ЦЕРН. Схема установки для изучения эксклюзивной реакции (1) приведена на Рис.1.

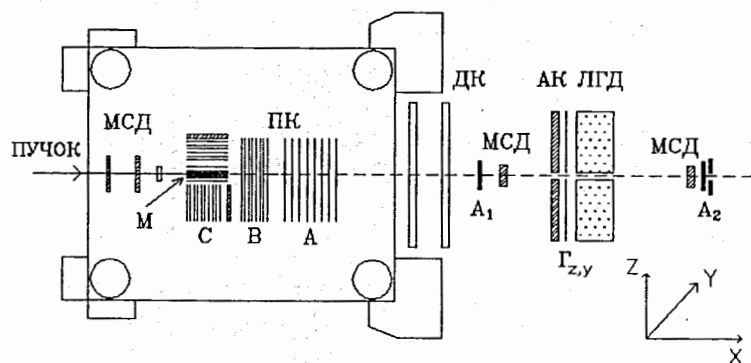


Рис.1 Схема  $\Omega$ -спектрометра в эксперименте WA91.

Для реконструкции треков пучковых и "быстрых" вторичных частиц применяются кремниевые микростриповые детекторы (МСД) с шагом 20,

25 и 50 мкм. Мишень из жидкого водорода находится в цилиндрическом контейнере из майлара и алюминия длиной 60 см, что соответствует 0.15 длины взаимодействия.

Пропорциональные камеры (ПК С) и сцинтилляционные годоскопы, расположенные внутри магнита с двух сторон от мишени, используются для восстановления треков "медленных" вторичных частиц. 15 модулей пропорциональных камер внутри магнита (ПК А, В) применяются для реконструкции треков вторичных заряженных частиц с промежуточными энергиями. Измерение импульсов вторичных заряженных частиц производится с помощью спектрометрического электромагнита  $\Omega$ ; рабочее значение напряженности магнитного поля в данном эксперименте составляло 1.35 Тл. Для регистрации фотонов и электронов в состав спектрометра был включен ливневый годоскопический детектор (ЛГД).

Триггерный отбор событий в эксперименте WA91 организован для выделения процессов центрального рождения мезонов в реакции (1). При интенсивности пучка  $(4.5-5) \cdot 10^6$  протонов за сброс число триггерных событий составляет (500-600). В течение двух сеансов набора данных в 1991-92 гг. было накоплено около 120 миллионов триггеров.

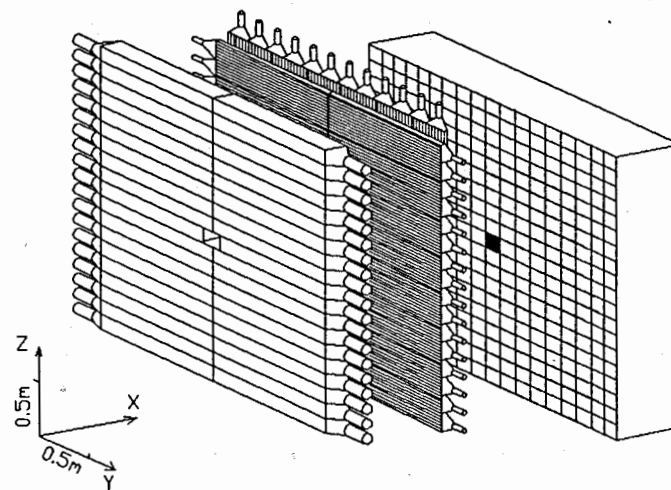


Рис.2 Комплекс детекторов для регистрации фотонов и электронов.

В данной главе подробно описан комплекс детекторов для регистрации  $\gamma$ -квантов и электронов (Рис.2). Электромагнитный калориметр представляет собой матрицу из 18x19 черенковских счетчиков полного поглощения. Радиаторы счетчиков изготовлены из свинцового стекла в виде прямоугольных призм размеров 14x14x47 см<sup>3</sup>, что составляет 18.5 радиационных длин по направлению пучка. Активный конвертор (АК) состоит из 2x19 элементов с размерами 145x14x10 см<sup>3</sup>, а сцинтилляционные годоскопы - из 672 счетчиков с размерами 153x1.53x1 см<sup>3</sup>.

Измерения характеристик электромагнитного калориметра проводились на канале X5 протонного синхротрона ЦЕРН. Для этих измерений была использована сборка из 3x3 черенковских счетчиков полного поглощения, элементов АК и сцинтилляционных годоскопов (Рис.3). Детекторы облучались в пучке электронов с энергиями от 1 до 50 ГэВ.

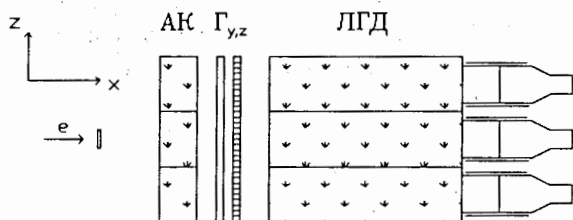


Рис.3 Сборка детекторов для тестовых измерений.

Приведены результаты исследования характеристик указанных детекторов. В исследуемом диапазоне энергий зависимость амплитуды сигналов с калориметра от энергии электронов в пучке имеет линейную форму. Энергетические потери в щелях ЛГД для электронов с импульсами 10 и 25 ГэВ/с не превышают 3%.

В сцинтилляционных годоскопах измерена зависимость амплитуды сигналов от координаты точки входа частицы вдоль счетчика. Средняя множественность сработавших счетчиков при попадании в АК электронов с энергиями (2-25) ГэВ меняется в пределах от 3 до 6. Показано, что ослабление сигналов вдоль радиатора АК слабо зависит от энергии электронов (Рис.4).

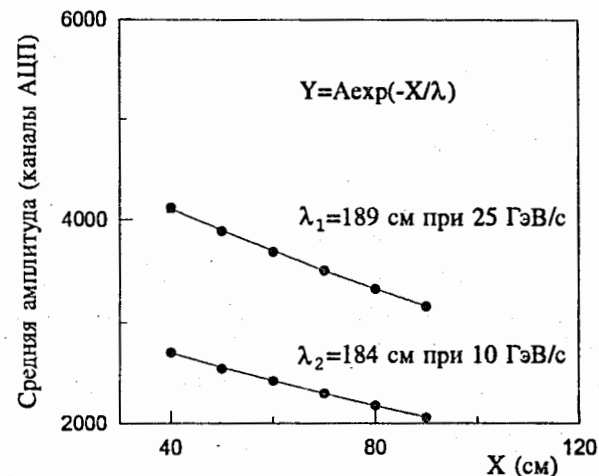


Рис.4 Зависимость амплитуды сигналов с АК от места входа частиц по длине радиатора (X - расстояние от фотокатода ФЭУ)

Измерено энергетическое разрешение счетчиков ЛГД (Рис.5):

$$\frac{\sigma}{E} = (1.4 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} + \frac{(5.8 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} \text{ ГэВ}^{1/2}}{\sqrt{E(\text{ГэВ})}} \quad (2)$$

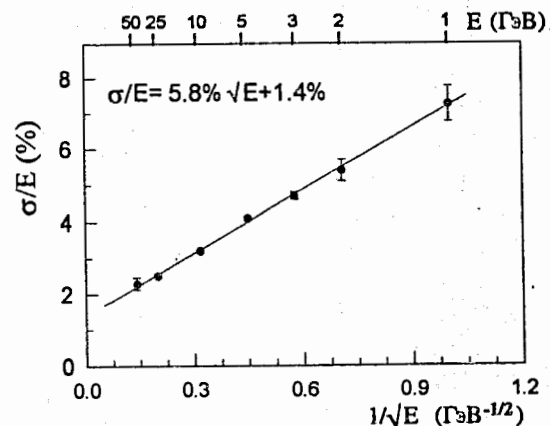


Рис.5 Энергетическое разрешение калориметра в зависимости от энергии электронов

При наличии информации со сцинтилляционных годоскопов координатное разрешение ЛГД достигает  $\sigma=4$  мм.

**Вторая глава** диссертации содержит описание триггерной системы, созданной для отбора событий в электромагнитном калориметре. Сигналы с ЛГД использовались как для восстановления энергии и координат фотонов и электронов, так и для триггерного запуска установки.

Созданная триггерная система служит для отбора событий с определенным числом электромагнитных ливней, с энергиями выше заданного порога. С целью оценки количества попавших в калориметр  $\gamma$ -квантов элементы детектора объединены в 16 групп (Рис.6). При малой множественности фотонов число групп в ЛГД с энерговывделением выше порога примерно соответствует количеству  $\gamma$ -квантов.

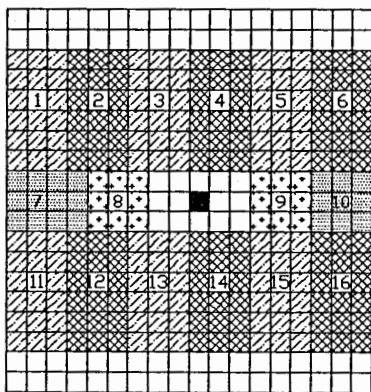


Рис.6 Триггерные группы ЛГД в эксперименте WA91

Система триггерного отбора событий в ЛГД создана на основе 16 электронных модулей, выполненных в стандарте КАМАК. Каждый модуль, схема включения которого приведена на Рис.7, содержит:

- токовый сумматор на 20 входов,
- линейную схему пропускания,
- выходной усилитель суммарного сигнала после линейной схемы пропускания,
- амплитудный дискриминатор,
- выходной формирователь сигналов после амплитудного дискриминатора.

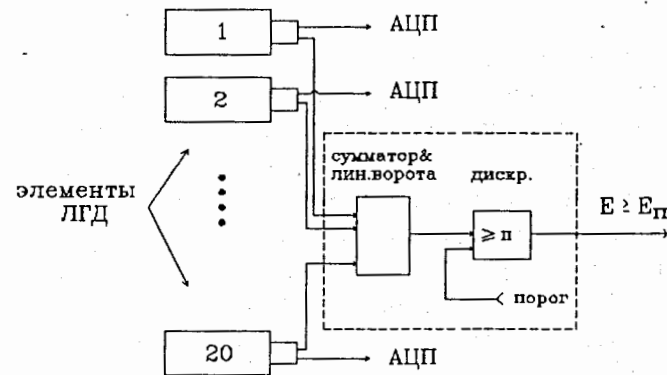


Рис.7 Блок-схема включения электронного модуля для триггерных групп в эксперименте WA91.

Сигналы с элементов каждой триггерной группы ЛГД подаются на один модуль. Суммированный в нем сигнал после прохождения линейной схемы пропускания поступает на амплитудный дискриминатор, порог дискриминации на котором и определяет требуемое энерговывделение в группе. Формированные сигналы со всех 16 модулей поступают на мажоритарную схему совпадения для определения множественности электромагнитных ливней.

При наборе экспериментальных данных требовалось наличие одного или более ливней, каждый с энерговывделением выше 2 ГэВ. Показано, что выполнение данного условия приводит к значительному подавлению событий упругого  $pp$ -рассеяния.

В конце главы описана триггерная система для отбора электронов и фотонов с большим поперечным импульсом. Указанная система создана на основе 14 программно управляемых электронных модулей.

**В третьей главе** диссертации приведены результаты изучения реакции  $pp \rightarrow p_f(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)p$ , при импульсе пучка 450 ГэВ/с. Подробно рассмотрена процедура отбора событий указанной реакции. В спектре эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов отчетливо наблюдаются узкий пик в области масс 1.28 ГэВ, соответствующий образованию  $f_1(1285)$ -резонанса, и

структуры в области масс 1.45 и 1.9 ГэВ. В области масс 0.8 и 1.1 ГэВ наблюдаются отражения  $\eta'$ - и  $f_1(1285)$ -распадов на  $(\eta\pi\pi)$ -мезоны, в которых  $\pi^0$ -мезоны от распада  $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  имеют небольшой импульс. Если в электромагнитном калориметре не зарегистрированы  $\gamma$ -кванты, эти отражения существенно подавляются. Указанное условие не влияет на структуры с массами около 1.28, 1.45 и 1.9 ГэВ, подтверждая тем самым, что они не являются отражением других каналов, содержащих  $\pi^0$ -мезоны.

Достоверное описание спектра эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов достигается при учете  $f_1(1285)$ -, X(1450)- и X(1900)-резонансов, отражений  $\eta'$ - и  $f_1(1285)$ -распадов на  $(\eta\pi\pi)$ -мезоны и фона. Для описания фона использовалось выражение  $a \cdot (m - m_{\text{пор.}})^b \cdot e^{(-cm - dm^2)}$ , где  $m$  - масса  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -системы,  $m_{\text{пор.}}$  - пороговая масса той же системы,  $a, b, c, d$  - параметры фита. Значения масс и ширин указанных резонансов в случае наилучшей аппроксимации составляют:

$$\begin{aligned} f_1(1285): & \quad M=(1280\pm 2) \text{ МэВ}, \quad \Gamma=(40\pm 5) \text{ МэВ}, \\ X(1450): & \quad M=(1446\pm 5) \text{ МэВ}, \quad \Gamma=(56\pm 12) \text{ МэВ}, \\ X(1900): & \quad M=(1926\pm 12) \text{ МэВ}, \quad \Gamma=(370\pm 70) \text{ МэВ}. \end{aligned} \quad (3)$$

Указания на X(1450)- и X(1900)-резонансы отчетливо наблюдаются лишь при малых передачах. Учитывая также, что эти частицы не были обнаружены при более низкой энергии в эксперименте WA76, можно предположить, что они рождаются в результате двухпоперного обмена.

Для разделения и количественной оценки вкладов от разных промежуточных каналов в конечное  $(4\pi)$  состояние применялся метод правдоподобия каналов /1/, который является расширением стандартного метода максимального правдоподобия. При расчетах использовалась модифицированная версия программного пакета *CHAFIT* /2/. Эта программа определяет относительные вероятности рассматриваемых промежуточных каналов в каждом событии, а в конце итерационной процедуры - вклад этих каналов в полном объеме экспериментальных данных.

В результате анализа около 100000 событий с образованием в центральной области  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов определено, что

- $f_1(1285)$ - и X(1450)-резонансы в основном распадаются на  $(\rho^0\pi^+\pi^-)$  мезоны,

- X(1900) состояние с одинаковой вероятностью распадается на  $a_2(1320)\pi$ - и  $f_2(1270)(\pi^+\pi^-)$ -мезоны,
- имеется незначительный вклад от  $(\rho^0\rho^0)$ -канала.

Анализ спин-четности наблюдаемых резонансов проведен в предположении, что вклад вносят лишь угловые моменты со значением до 2. Рассмотрены следующие промежуточные состояния:  $\rho^0\rho^0$ ,  $\rho^0(\pi^+\pi^-)_{S\text{-волна}}$ ,  $\rho^0(\pi^+\pi^-)_{P\text{-волна}}$ ,  $\rho^0(\pi^+\pi^-)_{D\text{-волна}}$ ,  $a_1(1260)\pi$ ,  $a_2(1320)\pi$ ,  $f_2(1270)(\pi\pi)_{S\text{-волна}}$ ,  $f_2(1270)(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$ ,  $f_2(1270)(\pi\pi)_{D\text{-волна}}$ .

С целью определения квантовых чисел  $J^P$  наблюдаемых в спектре эффективных масс структур строилась весовая функция для каждого  $i$  события и  $j$  промежуточного состояния:

$$P_j(i) = \frac{|M_j(i)|^2}{\epsilon_j(m_{4\pi}) \cdot \langle |M_j(m_{4\pi})|^2 \rangle}, \quad (4)$$

где  $M_j$  - матричный элемент  $j$  промежуточного состояния,  $\epsilon_j$  - акцептанс установки к процессу с промежуточным  $j$  состоянием при массе системы пионов  $m_{4\pi}$ . В качестве матричных элементов использовались спиновые амплитуды промежуточных состояний, определенные в спин-орбитальной схеме с помощью сферических гармоник /3/. На Рис.8 приводятся спектры эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов, построенные вышеуказанным способом для разных промежуточных каналов. Видно, что в случае  $J^P = 1^+ \rho(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$  промежуточного состояния в спектре эффективных масс отчетливо проявляется пик от  $1^+ f_1(1285)$ -резонанса (Рис.8,-а), что подтверждает достоверность нашего анализа. X(1450) резонанс проявляется при описании  $J^P = 0^+ \rho(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$  состоянием (Рис.8,-б), а X(1900) - одинаково проявляется при выборе как  $J^P = 2^+ a_2(1320)\pi$ , так и  $J^P = 2^+ f_2(1270)(\pi\pi)_{S\text{-волна}}$  промежуточного состояния (Рис.8,-в,-г). Указанные резонансы не наблюдаются в случае промежуточных состояний  $\rho(\pi\pi)_{S\text{-волна}}$  и  $\rho(\pi\pi)_{D\text{-волна}}$ , указывая этим, что имеют изоспин  $I=0$ .

Параметры  $f_1(1285)$ -, X(1450)- и X(1900)-резонансов, полученные в результате проведенного анализа, приведены в таблице 1:

Таблица 1

	Масса (МэВ)	Ширина (МэВ)	Мода распада	$I(JPC)$
$f_1(1285)$	$1280 \pm 2$	$40 \pm 5$	$\rho\pi\pi$	$0(1^{++})$
X(1450)	$1446 \pm 5$	$56 \pm 12$	$\rho\pi\pi$	$0(0^{++})$
X(1900)	$1926 \pm 12$	$370 \pm 70$	$a_2(1320)\pi, f_2(1270)\pi\pi$	$0(2^{++})$

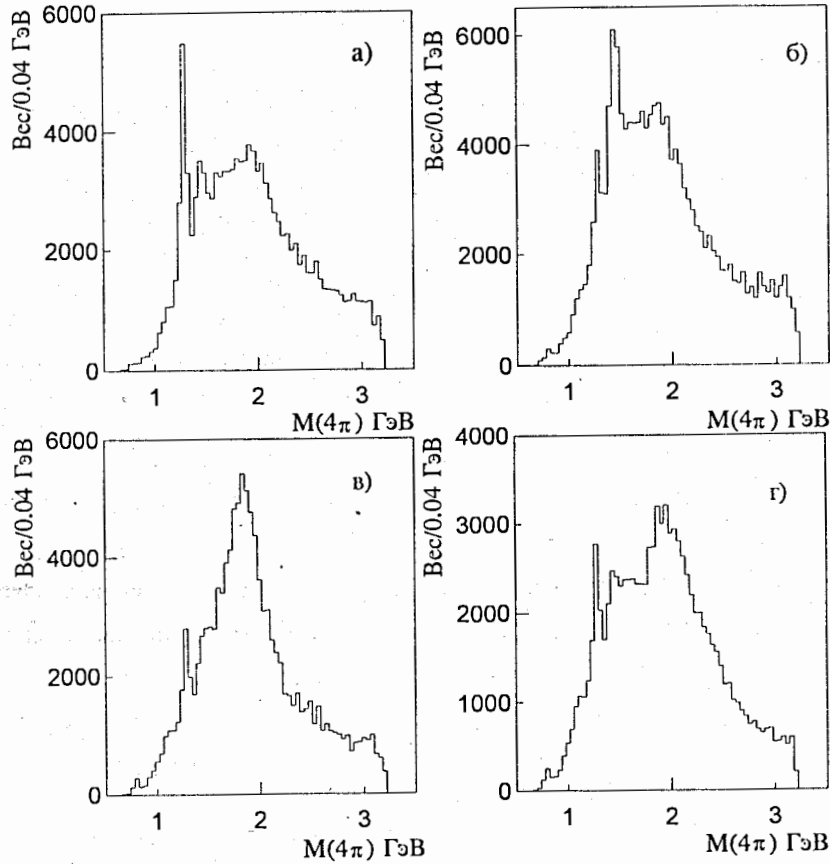


Рис.8 Спектры взвешенных эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов для промежуточного состояния: а)  $1^+\rho(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$ , б)  $0^+\rho(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$ , в)  $2^+a_2(1320)\pi$ , г)  $2^+f_2(1270)(\pi\pi)_{S\text{-волна}}$

Показано, что с помощью интерференции двух скалярных  $J^P = 0^{++}$   $f_0(1365)$ - и  $f_0(1520)$ -мезонов, обнаруженных в эксперименте *Crystall Barrel*, можно на качественном уровне описать X(1450) состояние.

В простой модели процессов двухпомеронного обмена отсутствуют корреляций между обменными вершинами и, следовательно, между вылетающими протонами в реакции двойного обмена (1) при высоких энергиях. Однако, при исследовании центрального рождения  $(\pi^+\pi^-)$ -мезонов в эксперименте WA91 наблюдается сильная зависимость выхода  $\rho^0(770)$ - и  $f_2(1270)$ -мезонов от направления вторичных протонов [4]. В частности, эти мезоны с большей вероятностью рождаются в событиях, в которых вторичные протоны вылетают в противоположные полушария относительно направления пучка. Моделирование в работе [4] подтвердило, что указанный эффект не является следствием акцептанса установки.

Согласно [5] при малой разности поперечных импульсов обменных частиц в процессе двойного обмена (1) можно ожидать подавление кварковых  $(q\bar{q})$ -состояний. Для более подробного изучения обнаруженного эффекта проведено исследование центрального рождения мезонов в разных интервалах по  $dP_T$ , где  $dP_T = \sqrt{(P_{y1} - P_{y2})^2 + (P_{z1} - P_{z2})^2}$ , а  $P_{yi}$  и  $P_{zi}$  - поперечные компоненты импульсов обменных частиц в СЦМ.

На Рис.9 видно, что при  $dP_T < 0.2$  ГэВ в спектрах эффективных масс  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов резко уменьшается выход  $f_1(1285)$ -мезона, тогда как X(1450)- и X(1900)-состояния остаются. Аналогично, в спектрах эффективных масс  $(\eta\pi\pi)$ -мезонов при малых значениях  $dP_T$  уменьшается выход  $\eta'$ - и  $f_1(1285)$ -мезонов - известных  $(q\bar{q})$ -состояний.

Вывод о возможном подавлении кварковых мезонных состояний при малых значениях  $dP_T$  и, следовательно, выделении на их фоне глюболов, нуждается в теоретическом обосновании.

В конце главы приводится обзор основных результатов экспериментальных поисков экзотических состояний в области масс 1500 МэВ. Показано, что X(1450) мезон успешно вписывается в ряд уже обнаруженных скалярных состояний, рассматриваемых как кандидаты в глюонные состояния. Отмечено, что эти состояния обнаружены при изучении



процессов, в которых усилена глюонная компонента - радиационных распадов  $J/\psi$ -частиц,  $p\bar{p}$ -аннигиляции и центрального рождения мезонов.

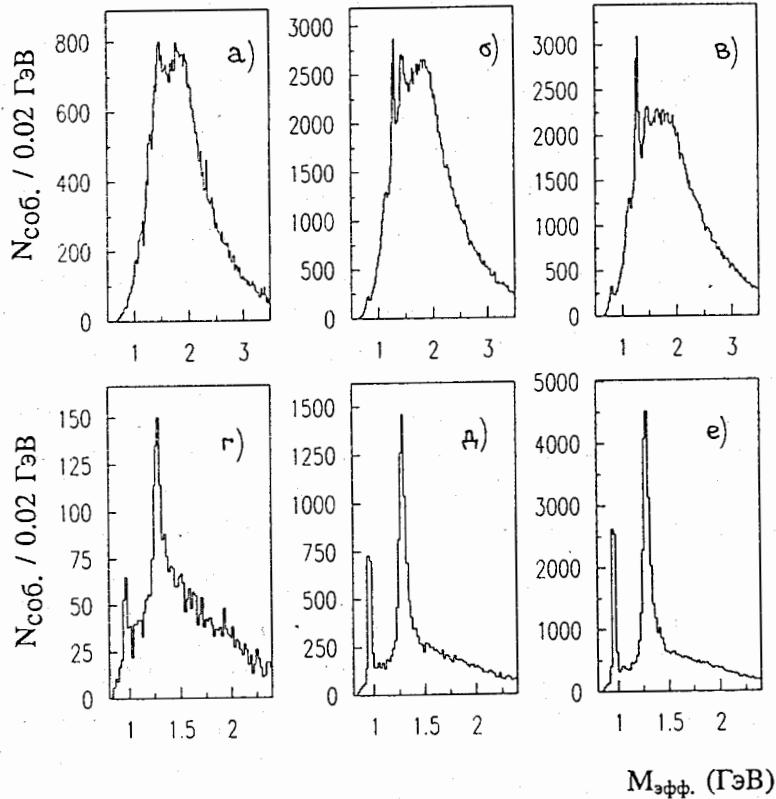


Рис.9 Спектр эффективных масс  $(\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-)$ -мезонов для: а)  $dP_T < 0.2$  ГэВ, б)  $0.2 < dP_T < 0.5$  ГэВ, в)  $dP_T > 0.5$  ГэВ, и спектр эффективных масс  $(\eta \pi \pi)$ -мезонов для: г)  $dP_T < 0.2$  ГэВ, д)  $0.2 < dP_T < 0.5$  ГэВ, е)  $dP_T > 0.5$  ГэВ

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Предложен и выполнен эксперимент WA91 на  $\Omega$ -спектрометре протонного синхротрона ЦЕРН для изучения центрального рождения  $X^0$  мезонов в реакции  $pp \rightarrow p_f(X^0)p_s$  при импульсе 450 ГэВ/с. В эксперимен-

тальных сеансах набора данных 1991-92 гг. в общей сложности накоплено около 120 миллионов триггерных событий.

$\Omega$ -спектрометр дополнен комплексом детекторов, обеспечивающих определение кинематических параметров  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезонов с высокой точностью. Выполнены работы по модернизации детекторов в составе указанного комплекса.

2. Проведены тестовые измерения характеристик ливневого годоскопического детектора (ЛГД) в пучке электронов с энергиями (1-50) ГэВ.

В диапазоне исследуемых энергий электронов зависимость отклика калориметра от энергии пучковых частиц имеет линейную форму. Энергетические потери в щелях ЛГД для электронов с импульсами 10 и 25 ГэВ/с не превышают 3%.

Измерено энергетическое разрешение электромагнитного калориметра:

$$\frac{\sigma}{E} = (1.4 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} + \frac{(5.8 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} \text{ ГэВ}^{1/2}}{\sqrt{E} [\text{ГэВ}]}$$

При наличии информации со сцинтилляционных годоскопов координатное разрешение ЛГД достигает  $\sigma = 4$  мм.

3. Создана система триггерного отбора событий в калориметре для эксперимента WA91; система отбирает события с определенным числом электромагнитных ливней с энергиями больше заданного порога. Включение сигналов с калориметра в общую систему запуска установки обеспечило значительное подавление событий упругого  $pp$ -рассеяния.

На базе программно управляемых электронных модулей создана триггерная система для отбора электронов и фотонов с большим поперечным импульсом.

4. Проведены исследования центрального рождения  $(\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-)$ -мезонов в реакции  $pp \rightarrow p_f(\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-)p_s$  при импульсе пучка 450 ГэВ/с. На основе анализа спектра эффективных масс  $(4\pi)$ -мезонов впервые подробно изучены X(1450)- и X(1900)-резонансы, которые с большей вероятностью наблюдаются при больших энергиях и малых переданных четырехимпульсах. Удовлетворительное описание указанного спектра получается при значениях массы и ширины у X(1450)- и X(1900)-резонансов соответственно  $(1446 \pm 5)$  МэВ и  $(56 \pm 12)$  МэВ, и  $(1926 \pm 12)$  МэВ и  $(370 \pm 70)$  МэВ. Если в электромагнитном калориметре не зарегистрированы  $\gamma$ -

кванты, сигналы от X(1450)- и X(1900)-мезонов не уменьшаются, подтверждая тем самым, что они не являются отражением других каналов, содержащих  $\pi^0$ -мезоны.

5. С помощью анализа спин-четности системы  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов установлено, что X(1450)-мезон имеет квантовые числа  $I(J^{PC})=0(0^{++})$ , а X(1900) -  $I(J^{PC})=0(2^{++})$ . При этом, если распад X(1450)-резонанса идет через промежуточное состояние  $J^P=0^+\rho(\pi\pi)_{P\text{-волна}}$ , то X(1900)-распад в одинаковой степени может идти как через  $J^P=2^+a_2(1320)\pi$ , так и через  $J^P=2^+f_2(1270)(\pi\pi)_{S\text{-волна}}$  промежуточные состояния.

6. Обнаружено, что при малой разности поперечных импульсов обменных частиц в реакции  $pp \rightarrow p_f(X^0)p$ , подавлен выход известных  $\rho^0(770)$ -,  $\eta'$ -,  $f_1(1285)$ - и  $f_2(1270)$ -состояний. Данный эффект указывает на существование корреляций между обменными вершинами в процессах двух-померонного обмена. При этом выход X(1450)- и X(1900)-резонансов, наблюдаемых в спектрах  $(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)$ -мезонов, не уменьшается.

7. Исследована возможность описания узкого X(1450)-резонанса с помощью двух скалярных  $J^P=0^+ f_0(1365)$ - и  $f_0(1520)$ -мезонов. Показано, что с помощью интерференции указанных мезонов можно на качественном уровне описать X(1450)-резонанс.

**Основные результаты** диссертации опубликованы в следующих работах:

1. F. Antinori, D. Barberis, R.P. Barnes, A. Bayes, W. Beusch, J.N. Carney, S. Clewer, J.P. Davies, D. Di Bari, C.J. Doderhoff, D. Evans, R. Fini, B.R. French, B. Ghidini, M. Girone, A. Jacholkowski, J.B. Kinson, A. Kirk, V. Lenti, A. Loconsole, S. Maljukov, V. Manzari, I. Minashvili, F. Navach, E. Quercigh, V. Romanovsky, N. Russakovich, A. Semenov, M. Sene, R. Sene, A. Solovjev, G. Tchlatchidze, G. Vassiliadis, I. Vichou, O. Villalobos Baillie, M.F. Votruba. "First Results from Experiment WA91 at CERN Omega Spectrometer", Il Nuovo Cimento A 107 (1994) 1857-1865.

2. S. Abatzis, F. Antinori, D. Barberis, R.P. Barnes, A. Bayes, W. Beusch, J.N. Carney, S. Clewer, J.P. Davies, D. Di Bari, C.J. Doderhoff, D. Evans, R. Fini, B.R. French, B. Ghidini, M. Girone, A. Jacholkowski, J.B. Kinson, A.

Kirk, Y. Kulchitsky, V. Lenti, R.A. Loconsole, S. Maljukov, V. Manzari, I. Minashvili, F. Navach, K. Norman, E. Quercigh, V. Romanovsky, N. Russakovich, A. Semenov, M. Sene, R. Sene, A. Solovjev, G. Tchlatchidze, G. Vassiliadis, I. Vichou, O. Villalobos Baillie, M.F. Votruba. "Observation of a narrow scalar meson at 1450 MeV in the reaction  $pp \rightarrow p_f(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-)p$ , at 450 GeV/c using the CERN Omega Spectrometer", Physics Letters B 324 (1994) 509-514.

3. F. Antinori, D. Barberis, A. Bayes, W. Beusch, J.N. Carney, S. Clewer, J.P. Davies, D. Di Bari, C.J. Doderhoff, D. Evans, D. Elia, R. Fini, B.R. French, B. Ghidini, A. Jacholkowski, J.B. Kinson, A. Kirk, Y. Kulchitsky, V. Lenti, R.A. Loconsole, S. Maljukov, V. Manzari, P. Martinengo, I. Minashvili, F. Navach, K. Norman, E. Quercigh, V. Romanovsky, N. Russakovich, A. Semenov, M. Sene, R. Sene, A. Solovjev, G. Tchlatchidze, G. Vassiliadis, O. Villalobos Baillie, M.F. Votruba. "A further study of the centrally produced  $\pi^+\pi^-$  and  $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$  channels in  $pp$  interactions at 300 and 450 GeV/c", Physics Letters B 353 (1995) 589-594

4. G. Chlachidze, A. Kirk, S. Maljukov, I. Minashvili, V. Romanovsky, N. Russakovich, A. Semenov, A. Solovjev. "Electromagnetic calorimeter trigger for the WA91 and WA92 experiments", JINR Communication E1-95-279 (1995)

5. С.Н. Малюков, И.А. Минашвили, В.И. Романовский, Н.А. Русакович, А.А. Семенов, А.С. Соловьев, Г.А. Члчидзе. "Характеристики электромагнитного калориметра на основе свинцового стекла в эксперименте WA91", Сообщения ОИЯИ P1-95-283 (1995).

6. D. Barberis, W. Beusch, F.G. Binon, J.N. Carney, F.E. Close, K.M. Danielsen, A.V. Dolgoplov, S.V. Donskov, B.C. Earl, D. Evans, B.R. French, S. Inaba, A.V. Inyakin, A. Jacholkowski, T. Jacobsen, G.V. Khaustov, T. Kinashi, J.B. Kinson, A. Kirk, W. Klempt, M. Kobayashi, A.A. Kondashov, Y. Kulchitsky, A.A. Lednev, V. Lenti, S. Maljukov, P. Martinengo, I. Minashvili, K. Myklebos, T. Nakagawa, K.L. Norman, J.M. Olsen, J.P. Peigneux, S.A. Polovnikov, V.A. Polyakov, Yu.D. Prokoshkin, V. Romanovsky, H. Rotscheidt, V. Rumyantsev, N. Russakovich, A.A. Sadovsky, V.D. Samoylenko, A. Semenov, M. Sene, R. Sene, P.M. Shagin, H. Shimizu, A.V.

Singovsky, A. Solovjev, M. Stassinaki, J.P. Stroot, V.P. Sugonyaev, K. Takamatsu, G. Tchlatchidze, T. Tsuru, G. Vassiliadis, M. Venables, O. Villalobos Baillie, M.F. Votruba, Y. Yasu. "A Kinematical selection of glueball candidates in central production", CERN/PPE 96-197 (1996)

### *Литература*

1. P.E. Condon and P. Coweîl, Phys. Rev. D9 (1974) 2268
2. Ph. Gavillet and J.C. Marin, CHAFIT, CERN/D.Ph.II/PROG 75-2 (1975)
3. H.J. Behrend et al., Phys. Lett. B 257 (1991) 505
4. D. Barberis,...,G. Tchlatchidze et al., CERN/PPE 96-128 (1996)
5. F.E. Close, A. Kirk, RAL-96-101 (1996)

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 июня 1997 года.