



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

99-22

На правах рукописи

Рябчиков Дмитрий Игоревич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СИСТЕМ  $\eta\pi^-\pi^-\pi^+$  И  $\eta\pi^-\pi^+$   
МЕТОДОМ ПАРЦИАЛЬНО-ВОЛНОВОГО АНАЛИЗА**

01.04.23 - физика высоких энергий

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Протвино 1999

УДК 539.12

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

Научный руководитель – доктор физико-математических наук  
А.М. Зайцев.

Официальные оппоненты: кандидат физико-математических наук  
С.А. Садовский, кандидат физико-математических наук Ю.А. Калашникова.

Ведущая организация – Научно-исследовательский институт ядерной физики  
МГУ (г. Москва).

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 1999 г. в  
\_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 034.02.01 при Инсти-  
туте физики высоких энергий по адресу: 142284, г.Протвино Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 1999 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 034.02.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр  
Российской Федерации  
Институт физики высоких энергий, 1999

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Изучение свойств мезонных резонансов является одной из важнейших проблем адронной спектроскопии.

Существующие экспериментальные данные в целом согласуются с кварковой моделью, следуя которой мезоны состоят из  $q\bar{q}$ -пар.

Вместе с тем актуален вопрос о существовании связанных состояний 4-кварков, или частиц, содержащих валентные глюоны.

В последние годы произошло существенное развитие техники эксперимента в мезонной спектроскопии, а также развитие вычислительной техники, что дало возможность получения высокой статистики событий для реакций вида

$$\pi^- A \rightarrow N\pi^- M\pi^+ K\gamma A, \quad (1)$$

здесь  $A$  обозначает начальное и конечное нуклонные состояния,  $N$ ,  $M$ ,  $K$  — целые числа.

Установка ВЕС ИФВЭ позволяет получить большую статистику ряда реакций вида (1), содержащих по крайней мере два заряженных трека в конечном состоянии. Экспериментальные данные были получены при импульсе налетающего  $\pi^-$ -мезона 37 ГэВ на мишени из бериллия.

Основным методом систематического анализа эксклюзивных реакций вида (1) является парциально-волновой анализ (ПВА), разработанный и успешно применённый к системам с тремя псевдоскалярными мезонами в конечном состоянии. Вместе с тем методика анализа систем, состоящих из 4 псевдоскалярных мезонов, или 1-2 векторных и нескольких псевдоскалярных мезонов, не была достаточно хорошо разработана.

Поэтому важной задачей, поставленной и успешно решённой, является разработка методики и написание универсальных программ ПВА а также применение их к анализу ряда реакций.

**Цель диссертационной работы** состоит в разработке методики многочастичного ПВА и в физическом анализе реакций:

$$\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \eta A, \quad (2)$$

$$\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ \eta n. \quad (3)$$

### Автор защищает:

- Разработку универсальной методики многочастичного парциально-волнового анализа и модификацию пакета программ ПВА на установке ВЕС.
- Применение разработанного комплекса программ ПВА к анализу реакции  $\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \eta A$ , с исследованием новой моды распада  $f_1(1285) \rightarrow \sigma \eta$ , изучением интенсивностей и фаз парциальных волн в системе  $f_1(1285)\pi^-$  и резонансной интерпретацией ряда амплитуд.
- Анализ реакции перезарядки  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ \eta n$  при малых значениях переданного импульса, где получены указания на резонансную природу волн с  $J^{PC} = 1^{--}, 3^{--}, 2^{++}, 4^{++}$  квантовыми числами.

### Научная новизна и практическая ценность

Впервые разработана универсальная методика для проведения ПВА систем из 4 частиц. Многие из программ были в дальнейшем обобщены и применялись для анализа систем типа VPP, VVP (здесь P и V — псевдоскалярный и векторный мезоны).

Впервые исследована реакция  $\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \eta A$ , проведен как масс-независимый ПВА, так и масс-зависимые фиты с интерпретацией ряда волн как сигналов от резонансов с квантовыми числами  $J^{PC} = 1^{++}, 2^{-+}$ , свойства которых к настоящему моменту слабо изучены.

Детально исследован распад  $f_1(1285) \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ , учитывая  $a_0(980)\pi^-$  и  $\sigma \eta$ -каналы. Произведенная параметризация данного распада может быть использована при анализе различных реакций с наличием  $f_1(1285)$ -мезона в промежуточном состоянии.

Обнаружена статистически значимая парциальная волна с экзотическими  $J^{pc} = 1^{-+}$ -квантовыми числами в  $f_1(1285)\pi^-$ -системе.

Произведено исследование реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ \eta n$  при малых значениях переданного импульса от налетающего  $\pi^-$ -мезона к системе  $\pi^- \pi^+ \eta$ .

Впервые подробно исследована амплитуда  $3^{--} a_2(1320)\pi$  и определено значение отношения  $\frac{BR(\rho_3(1690) \rightarrow a_2 \pi)}{BR(\rho_3(1690) \rightarrow \rho \eta)}$ . Исследованы также  $2^{++}$ - и  $4^{++}$ -состояния в  $\eta \pi \pi$ -системе.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты, использованные в диссертации, докладывались на международных конференциях по адронной спектроскопии HADRON91, HADRON97, на семинарах ИФВЭ.

По результатам выполненных исследований имеется 5 публикаций.

**Структура диссертации.** Работа изложена на 84 страницах, состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 31 рисунок, 2 таблицы и список цитируемой литературы, включающий 61 наименование.

## Содержание работы

**В первой главе** изложен метод парциально-волнового анализа для случая конечного состояния, содержащего несколько псевдоскалярных мезонов. Описан вклад автора в развитие методики ПВА.

В основе метода ПВА для многомезонных конечных состояний, образующихся при взаимодействии налетающего  $\pi^-$ -мезона с ядерной мишенью, лежит изобарная модель, следуя которой в реакции

$$\pi^- A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n A, \quad (4)$$

где  $X_1 X_2 \dots X_n$  — многомезонное конечное состояние, регистрируемое установкой;  $A$  — начальное и конечное нуклонные состояния, происходит вначале образование промежуточного состояния  $Y$ :

$$\pi^- A \rightarrow Y A, \quad (5)$$

которое затем распадается на конечную систему мезонов

$$Y \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n, \quad (6)$$

причем распад состояния  $Y$  происходит через последовательную цепь квазидвух-частичных распадов:

$$Y \rightarrow Y_1 Y_2, \quad Y_1 \rightarrow Y_3 Y_4 \dots \quad Y_M \rightarrow X_1 X_2. \quad (7)$$

Состояние  $Y$  обладает определенными квантовыми числами: полным спином  $J$ , пространственной чётностью  $P$ , а также  $G$ -чётностью. Предполагается, что образование состояния  $Y$  происходит путем обмена в  $t$ -канале мезонной траекторией, взаимодействующей в нижней вершине с ядром или отдельными нуклонами, и обладающей определенными характеристиками: изоспином  $I_{exchange}$ ,  $G_{exchange}$ -чётностью, а также натуральностью:  $\eta_{exchange} = P_{exchange} (-1)^{J_{exchange}}$ .

Данные характеристики обменной траектории накладывают определенные ограничения на квантовые числа состояния  $Y$ , а также на его спиновую матрицу плотности в специально выбранной системе отсчета — системе Готтфрида-Джексона. Удобно ввести амплитуды с определенной чётностью при отражении относительно плоскости  $XZ$  в системе Готтфрида-Джексона. В данном базисе  $2J + 1$ -состояний, соответствующих различным проекциям полного спина  $J$ , перечисляются различными значениями  $M\eta$ , где  $M \geq 0$ , а  $\eta = \pm 1$ .

Автором были реализованы следующие новые возможности пакета программ ПВА на установке ВЕС:

- Построение  $J^P M \eta$ -амплитуд для различных каналов методом нерелятивистского тензорного формализма Земаха, удобное для быстрого и безошибочного их написания.
- Применение эффективных методов монте-карловского интегрирования произведений амплитуд, участвующих в модели ПВА, основанных на неравномерном заполнении случайными точками фазового пространства исследуемой реакции.
- Построение матрицы плотности конечных состояний, обладающей ограниченным максимальным рангом, что даёт возможность значительно уменьшить число параметров фита при фиксированной размерности этой матрицы.
- Проведение масс-зависимого ПВА, в котором одновременно фитируются события, взятые из широкого интервала по инвариантной массе мезонной системы, и моделируется зависимость элементов матрицы плотности от инвариантной массы. При этом комплексные параметры в каждом из собственных векторов данной матрицы параметризуются набором амплитуд Брейт-Вигнера и нерезонансными вкладами. В фите оптимизируются как относительные вклады введенных резонансов, описываемые комплексными константами связи, так и значения масс и ширин одного или нескольких резонансов.

Во второй главе представлены результаты исследования реакции

$$\pi^- A \rightarrow \eta \pi^- \pi^- \pi^+ A, \quad \eta \rightarrow \gamma \gamma. \quad (8)$$

Из рассмотрения спектра инвариантных масс  $\eta \pi^- \pi^+$  подсистемы (рис. 1а) следует, что существенная доля событий в  $\eta \pi^- \pi^- \pi^+$  конечном состоянии в реакции (8) является продуктом распада  $f_1(1285) \pi^-$  промежуточного состояния.

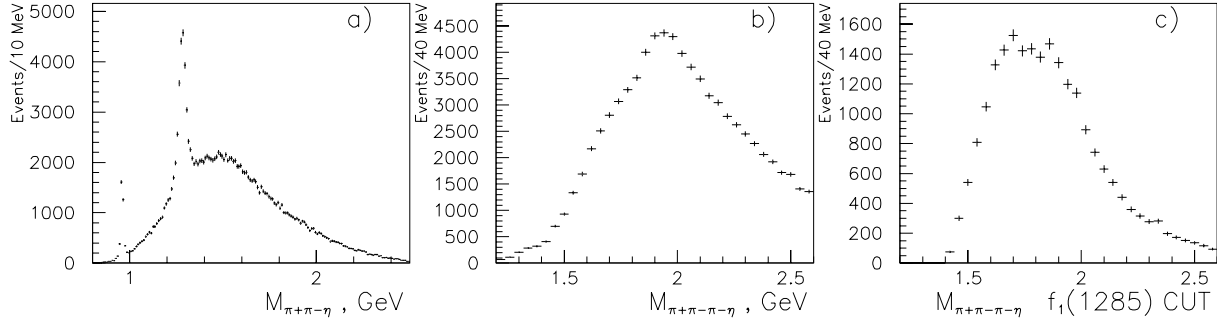


Рис. 1. Спектры масс  $\pi^+ \pi^- \eta$ ,  $\eta \pi^- \pi^- \pi^+$  и  $\eta \pi^- \pi^- \pi^+$  с выделением  $f_1(1285)$ -мезона.

Большая статистика  $f_1(1285)$  мезонов позволяет детально исследовать амплитуду распада  $f_1(1285) \rightarrow \eta \pi^- \pi^+$ . Оказалось, что наряду с доминирующей  $f_1(1285) \rightarrow a_0(980) \pi$  модой распада, описываемой соответствующей амплитудой в рамках изобарной модели, необходимо ввести амплитуду  $f_1(1285) \rightarrow \sigma \eta$ , где  $\sigma \rightarrow \pi^+ \pi^-$  — состояние с  $J^{PC} = 0^{++}$  квантовыми числами. Амплитуда  $\sigma \eta$  сильно

интерferирует с доминирующей  $a_0(980)\pi$ . Относительные доли распада  $f_1(1285)$  на  $a_0(980)\pi$  и  $\eta\sigma$  выражаются следующим образом: 100% событий  $f_1 \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  есть  $(111. \pm 10)\%$   $a_0\pi$  событий,  $(22 \pm 2)\%$  —  $\eta\sigma$  событий и  $(-33 \pm 3)\%$  — событий, лежащих в области интерференции этих двух каналов.

Парциально-волновой анализ реакции (8) производился в полном фазовом пространстве четырёх конечных мезонов. Наряду с  $f_1(1285)\pi^-$  были введены  $a_2(1320)\eta$ ,  $a_1(1260)\eta$ ,  $a_0(980)\rho(770)$ ,  $a_2(1320)\rho(770)$  и  $a_0(980)f_2(1270)$  каналы, где дальнейшие распады промежуточных резонансов приводят окончательно к  $\eta\pi^-\pi^-\pi^+$ -конечному состоянию.

Как показали результаты исследований, во всех промежуточных состояниях реакции (8) доминируют состояния с  $J^P = 1^+$  и  $2^-$  квантовыми числами и проекцией полного спина в системе Готтфрида-Джексона  $M = 0$ , отвечающей положительной натуральности обменной частицы  $\eta = +1$ .

В канале  $f_1(1285)\pi^-$   $1^+$ -волна является доминирующей. Её интенсивность имеет вид широкого бампа с максимумом в районе 1,75 ГэВ (рис. 2а).

Предполагая происхождение  $1^+$ -волны как сигнала от  $a_1(1700)$ -мезона, и описывая её амплитудой Брейт-Вигнера (с постоянной шириной в знаменателе), получаем следующие параметры:

$$M = (1650 \pm 30) \text{ МэВ}, \quad \Gamma = (420 \pm 40) \text{ МэВ}. \quad (9)$$

В канале  $f_1(1285)\pi^-$  присутствует также  $J^P M \eta = 2^- 0+$ -амплитуда, её интенсивность достаточно быстро возрастает от порога и имеет максимум в районе 2,0 ГэВ (рис. 2b). Фаза этой волны существенно нарастает относительно  $1^+$ -волны в широком интервале масс от 1,8 до 2,2 ГэВ (рис. 2e).

Амплитуда  $2^-$ -волны моделировалась с помощью двух амплитуд Брейт-Вигнера, соответствующих  $\pi_2(1670)$ -мезону с массой и шириной, взятыми из PGD таблиц, и более высоколежащему  $2^-$ -состоянию, параметры которого были получены из масс-зависимого ПВА:

$$M = (2020 \pm 20) \text{ МэВ}, \quad \Gamma = (410 \pm 40) \text{ МэВ}. \quad (10)$$

Пунктирными кривыми на рис. 2b,e показано описание интенсивности и относительной фазы  $2^-$ -волны, следующее из масс-зависимого ПВА. Волна  $2^- a_2(1320)\eta$  имеет вид сравнительно узкого пика (рис. 2d), это S-волна в  $a_2(1320)\eta$  системе, вблизи её порога. Быстрая вариация фазы данной волны не наблюдается, что не позволяет рассматривать её как сигнал от одного резонанса с массой в районе 1,9 ГэВ.

Интерес к изучению реакции (8) был вызван также возможностью поиска состояний с экзотическими квантовыми числами:  $J^{PC} = 1^{-+}$ , которые по предсказанию некоторых теоретических моделей имеют большую вероятность распада на  $f_1(1285)\pi$ .

Результаты ПВА показали, что волна с  $J^P = 1^-$  в  $f_1\pi$ -системе не является доминирующей, однако она является статистически значимой и присутствует в

широком диапазоне по  $f_1\pi$  инвариантной массе (рис. 2с). Ее образование соответствует обмену реджеонами с положительной натуральностью, что возможно только с проекцией полного спина  $M = 1$  в системе Готтфрида-Джексона.

Фаза  $1^-$ -волны относительно доминирующей волны  $1^+ f_1\pi$  медленно падает в диапазоне масс  $1,4 < M_{f_1\pi} < 1,9$  ГэВ.

Отсутствие ярко выраженного движения фазы в экзотической волне и узких структур в ее интенсивности исключает факт наблюдения достаточно узких экзотических состояний в канале  $f_1\pi$ .

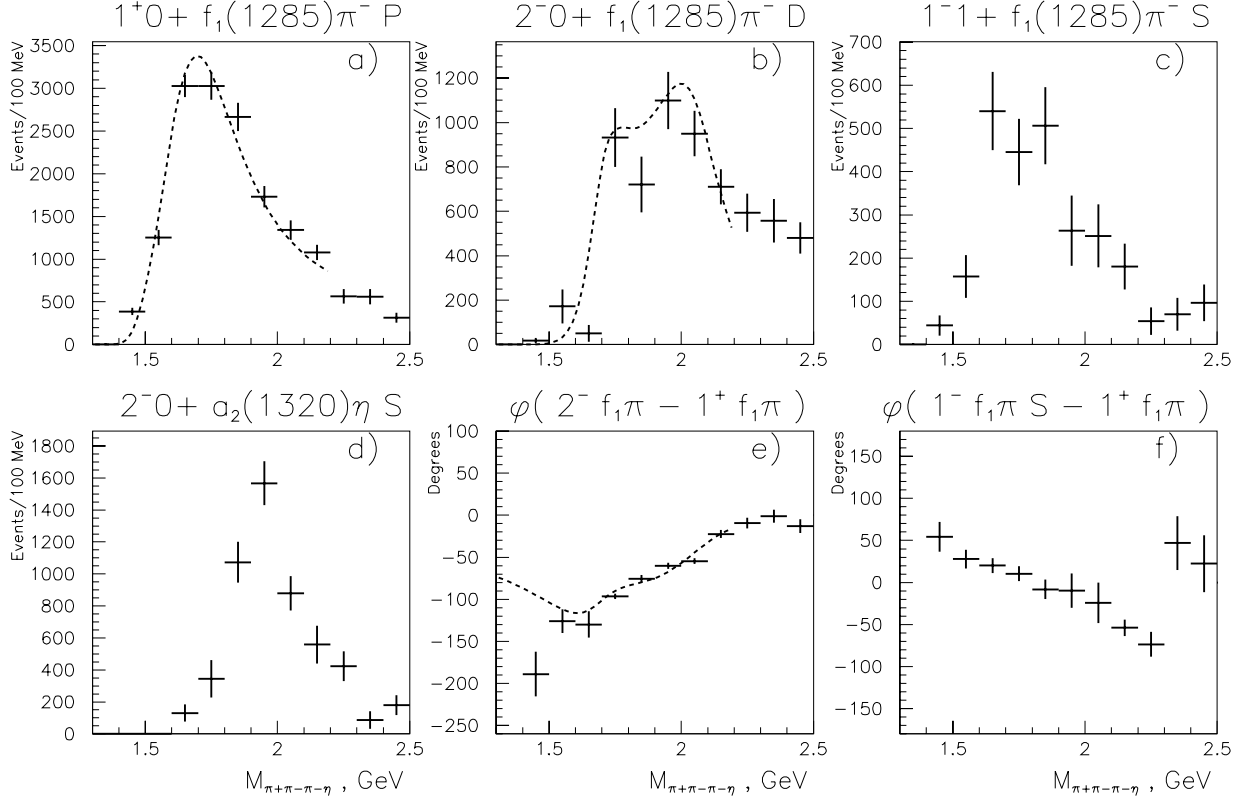


Рис. 2. Интенсивности  $J^P M \eta$  парциальных волн для системы  $f_1\pi$  (a,b,c) и относительные фазы (e,f); волна  $J^P = 2^-$  в системе  $a_2\eta$  (d).

**В третьей главе** представлены результаты исследования реакции

$$\pi^- p \rightarrow \eta \pi^- \pi^+ n, \quad \eta \rightarrow \gamma\gamma. \quad (11)$$

Для выделения событий данной реакции отбирались события, имеющие два противоположно заряженных трека, два ливня в электромагнитном калориметре, не лежащие в области проекций треков на его плоскость. События с  $\eta$ -мезоном отбирались следующим условием:  $0,48 < M_{\gamma\gamma} < 0,61$  ГэВ. Полная энергия двух  $\pi$ -мезонов и  $\eta$ -мезона была ограничена следующим образом:  $32 < E_{tot} < 38$  ГэВ (что соответствует упругому пику, отвечающему импульсу налетающего  $\pi$ -мезона на установке



ВЕС, равному 37 ГэВ). Количество фона под  $\eta$ -мезоном в окончательно отобранных событиях оценивалась как  $\approx 19\%$ . На рис. 3 показаны некоторые физические распределения для отобранных событий, стрелками показаны наложенные обрезания.

В реакциях перезарядки на протоне присутствуют два механизма образования  $\eta\pi^-\pi^+$ -системы: при малых переданных импульсах рождаются состояния с отрицательной натуральностью обменной частицы, состояния же с положительной натуральностью обменной частицы имеют более широкое  $t$ -распределение.

Наиболее яркое поведение наблюдается для состояний с отрицательной натуральностью обмена, относительный вклад которых возрастает при требованиях  $|t'| < 0,2$  ГэВ<sup>2</sup>. Для сектора с  $\eta = -1$  оказалось необходимым ввести  $\rho(770)\eta$ ,  $a_2(1320)\pi$  и  $f_2(1270)\eta$  промежуточные состояния с квантовыми числами однопионного обмена:  $J^{PC} = 1^{--}, 2^{++}, 3^{--}, 4^{++}$ . В диапазоне инвариантных масс  $1,0 < M_{\eta\pi\pi} < 2,6$  ГэВ был найден следующий набор значимых волн:

$J^{PC}M^n$	канал распада	
$1^{--}0^-$	$\rho(770)\eta$	
$3^{--}0^-$	$\rho(770)\eta,$	$a_2(1320)\pi$
$2^{++}0^-$	$a_2(1320)\pi,$	$f_2(1270)\eta$
$4^{++}0^-$	$a_2(1320)\pi,$	$f_2(1270)\eta.$

На рис. 4 показаны интенсивности волн с отрицательной натуральностью обмена, поправленные на акцептанс установки ВЕС. На рис. 5 изображены относительные фазы  $J^{PC} = 3^{--}, 2^{++}, 4^{++}$  волн относительно доминирующей волны  $1^{--}\rho\eta$ . Быстрое изменение волн и вариация их относительных фаз с изменением инвариантной массы  $M_{\eta\pi\pi}$  указывает на наличие резонансов в системе  $\eta\pi^-\pi^+$ . В масс-зависимом ПВА была произведена попытка фитирования зависимости всех амплитуд с  $\eta = -1$  от массы  $\eta\pi\pi$ , при насыщении их преимущественно резонансами, распадающимися на  $\rho(770)\eta$ ,  $a_2(1320)\pi$  и  $f_2(1270)\eta$ .

Волна  $1^{--}\rho\eta$  является доминирующей среди волн с  $\eta = -1$  (рис. 4а); она моделировалась в виде суммы амплитуд Брейт-Вигнера, отвечающих известным объектам:  $\rho(1450)$ ,  $\rho(1700)$  и  $\rho(2150)$ .

В волнах  $3^{--}\rho\eta$  и  $a_2\pi$  существенно влияние  $\rho_3(1690)$  мезона. Его присутствие обуславливает быстрый рост данных интенсивностей в районе 1,7 ГэВ (рис. 4с,d), а также быстрый рост фаз обеих  $3^{--}$  амплитуд (рис. 5а,b).

Из масс-зависимого ПВА были получены следующие параметры для  $\rho_3(1690)$ :

$$\begin{aligned} M &= (1685 \pm 10_{stat} \pm 20_{cism}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (220 \pm 30_{stat} \pm 50_{cism}) \text{ МэВ}. \end{aligned} \tag{12}$$

а также, учитывая известную вероятность распада  $a_2(1320) \rightarrow \eta\pi$ ,

$$\frac{BR[\rho_3(1690) \rightarrow a_2(1320)\pi]}{BR[\rho_3(1690) \rightarrow \rho(770)\eta]} = 5,5 \pm 2,0. \tag{13}$$

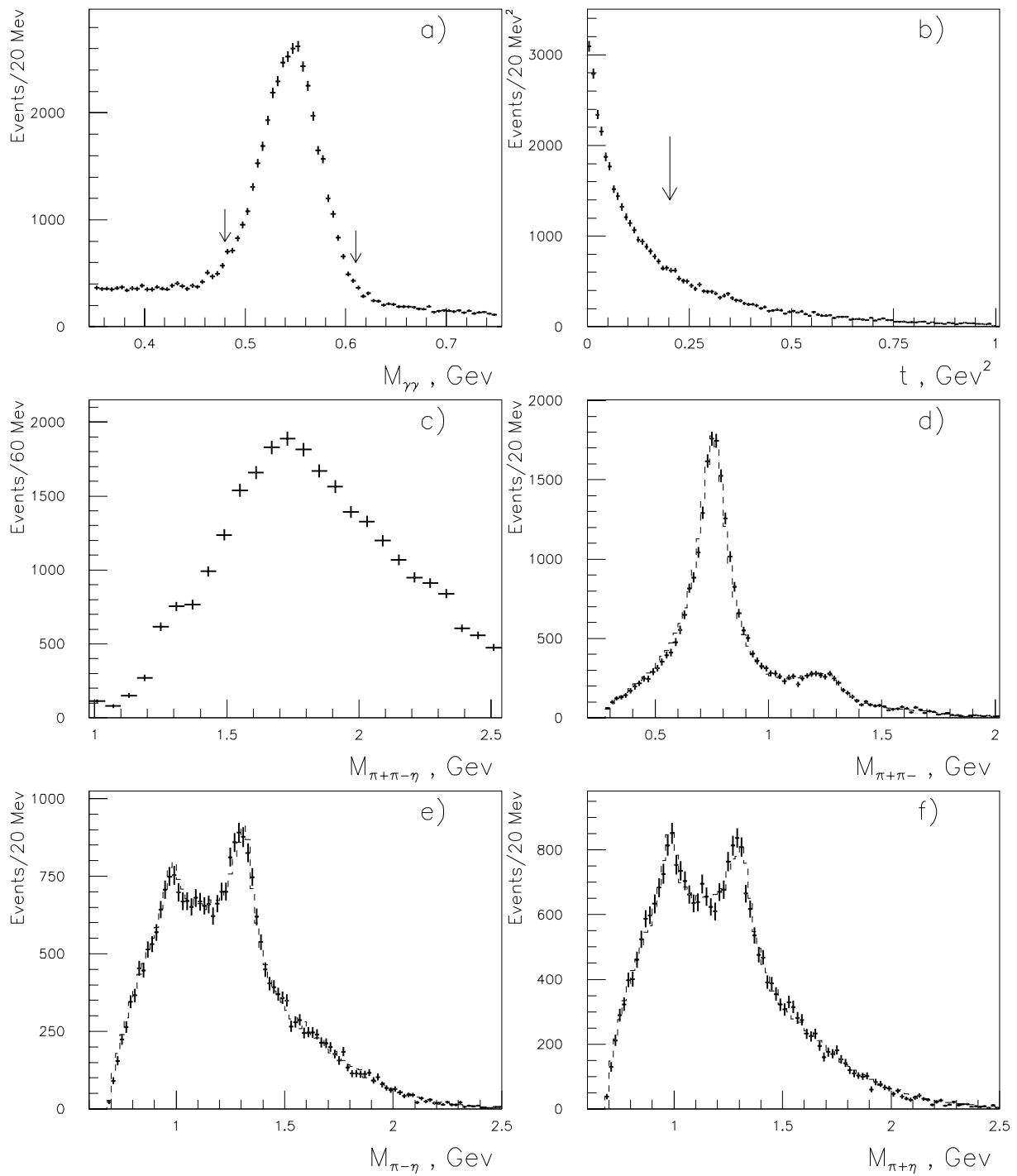


Рис. 3. Некоторые физические распределения для  $\eta\pi^+\pi^-$  событий. (a) Распределение по  $M_{\gamma\gamma}$ ; (b)  $|t|$  - распределение; (c) массовый спектр  $\eta\pi\pi$ , (d) массовый спектр  $\pi\pi$ ; (e) и (f) спектры инвариантных масс  $\eta\pi^-$  и  $\eta\pi^+$ . Пунктирными кривыми показано описание по Монте-Карло, следующее из масс-независимого ПВА.

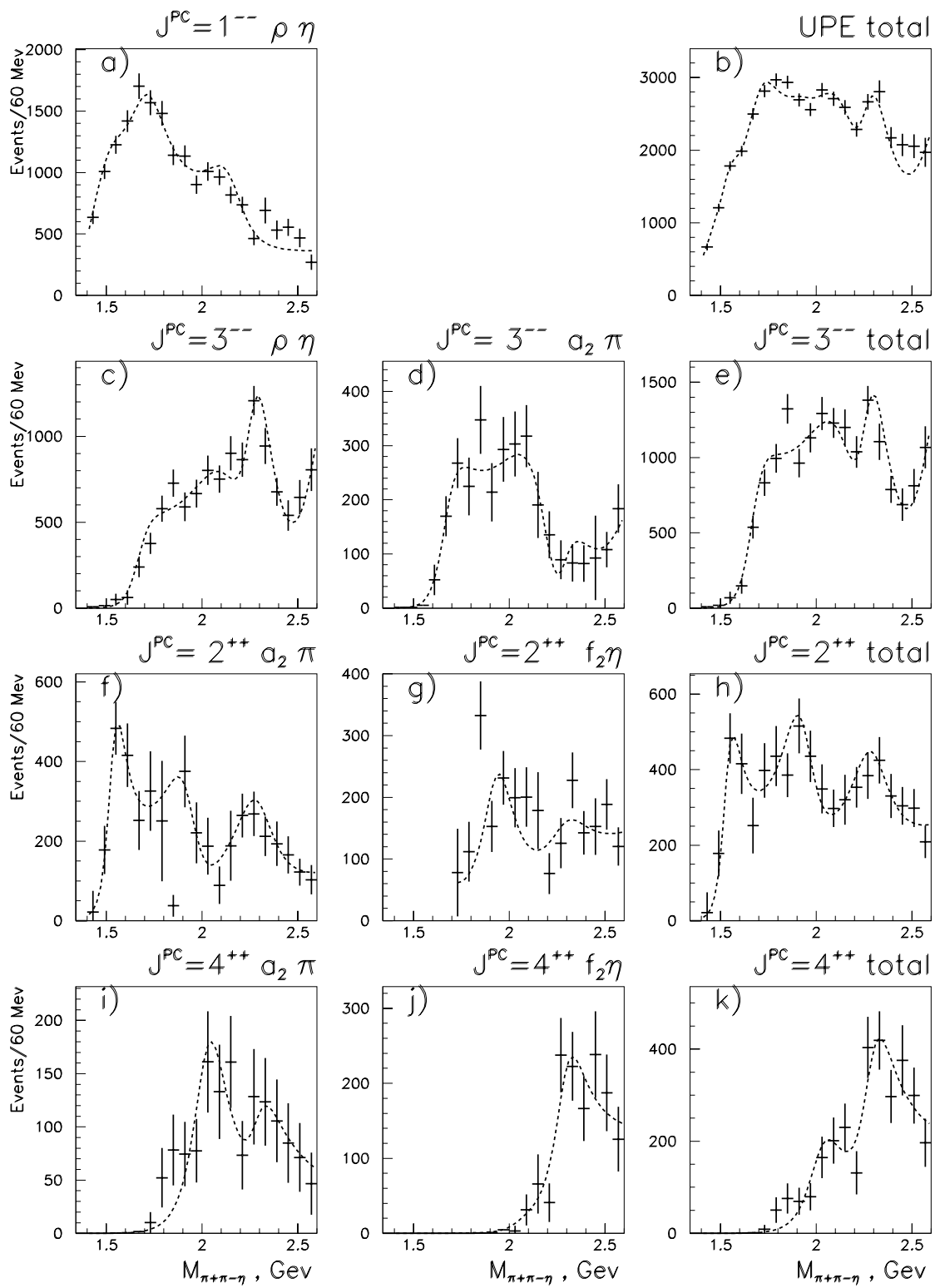


Рис. 4. Интенсивности волн с отрицательной натуральностью частицы обмена. Пунктирными кривыми показаны результаты масс-зависимого ПВА.

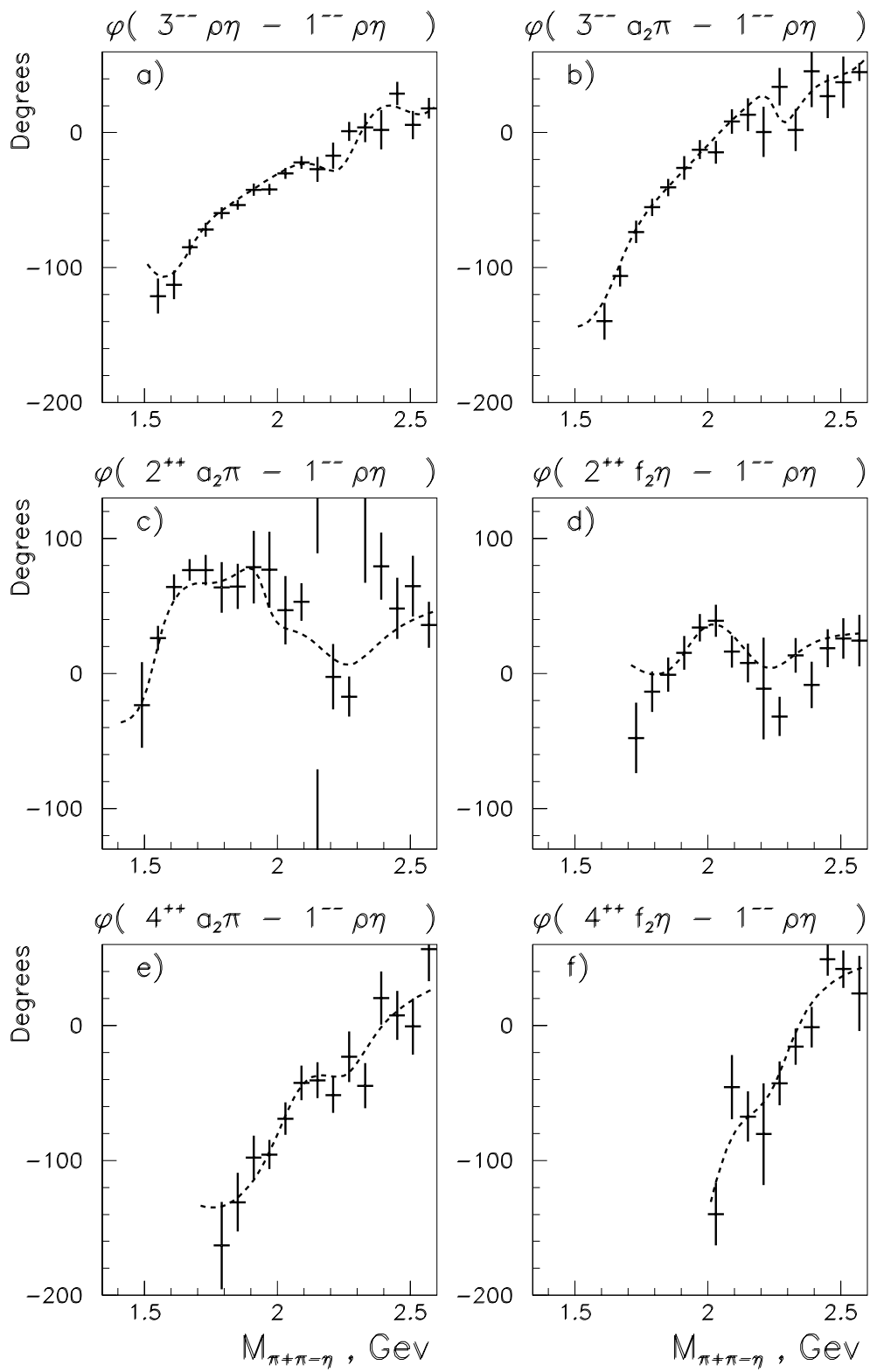


Рис. 5. Фазы амплитуд с  $J^{PC} = 3^{--}, 2^{++}$  and  $4^{++}$  относительно  $1^{--}\rho\eta$ -волны. Пунктирными кривыми показаны результаты масс-зависимого ПВА.

Систематические ошибки для значений массы и ширины  $\rho_3(1690)$  были оценены путём проведения большого количества фитов с различной параметризацией  $3^{--}$  амплитуд в области больших масс. Наилучший фит был получен при введении двух дополнительных резонансов в области 2,1 и 2,3 ГэВ. Последний известен из PDG таблиц как  $\rho_3(2250)$ , он проявляется в интенсивности  $3^{--}\rho\eta$  (рис. 4с), а также в суммарных интенсивностях (рис. 4b,e). Для массы и ширины  $\rho_3(2250)$  мезона получены следующие значения:

$$\begin{aligned} M &= (2290 \pm 20_{\text{стат}} \pm 30_{\text{сист}}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (230 \pm 50_{\text{стат}} \pm 80_{\text{сист}}) \text{ МэВ}. \end{aligned} \quad (14)$$

В интенсивности волны  $2^{++}a_2(1320)\pi$  (рис. 4f) наблюдается достаточно узкий пик в районе 1,6 ГэВ, параметры которого согласуются с известным состоянием  $f_2(1565)$ , называемым также АХ-мезоном. Он хорошо проявляется также в суммарной интенсивности  $2^{++}$ -волн (рис. 4h). Были получены следующие параметры этого резонанса при описании амплитудой Брейт-Вигнера:

$$\begin{aligned} M &= (1550 \pm 10_{\text{стат}} \pm 20_{\text{сист}}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (130 \pm 20_{\text{стат}} \pm 40_{\text{сист}}) \text{ МэВ}. \end{aligned} \quad (15)$$

Сигналы на 1,9 и 2,3 ГэВ в суммарной интенсивности  $2^{++}$ -волн описывались введением известных из таблиц PDG  $f_2(1920)$ - и  $f_2(2300)$ -мезонов.

Суммарная интенсивность  $4^{++}$ -волн имеет максимум в районе 2,3 ГэВ (рис. 4k), а фазы  $4^{++} a_2(1320)\pi$  и  $f_2(1270)\eta$  возрастают в диапазоне масс 2,0–2,4 ГэВ (рис. 5e,f). Это является указанием на сигнал от резонанса  $f_4(2300)$ , наблюдаемого в распаде преимущественно по каналу  $f_2(1270)\eta$ . В фит вводился также хорошо известный  $f_4(2040)$ -мезон с параметрами из PDG таблиц. Получены следующие параметры  $f_4(2300)$ -мезона:

$$\begin{aligned} M &= (2330 \pm 20_{\text{стат}} \pm 40_{\text{сист}}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (235 \pm 50_{\text{стат}} \pm 40_{\text{сист}}) \text{ МэВ}. \end{aligned} \quad (16)$$

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

1. Модифицирован и существенно дополнен пакет программ парциально-волнового анализа на установке ВЕС. Разработаны такие новые возможности, как построение амплитуд для систем из 3- и 4- псевдоскалярных мезонов методом нерелятивистского тензорного формализма Земаха; параметризация спиновой матрицы плотности с фиксированным максимальным рангом; применение эффективных методов вычисления интегралов нормировки в функционале максимального правдоподобия. Создана программа масс-независимого парциально-волнового анализа, позволяющая одновременно оптимизировать как элементы матрицы плотности, так и параметры резонансов, используя метод максимального правдоподобия. Программы масс-независимого и масс-зависимого ПВА обладают универсальностью и могут быть быстро адаптированы к исследованию новых реакций.

2. С помощью разработанного комплекса программ 4-частичного парциально-волнового анализа впервые произведен анализ реакции

$$\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \eta A$$

в полном фазовом пространстве. Наблюдена  $f_1(1285) \rightarrow \sigma \eta$  мода распада. Измерены относительные вклады в доминирующий канал  $a_0(980)\pi$ ,  $\sigma \eta$  и их совместную интерференцию.

В системе  $f_1(1285)\pi^-$  показано доминирование парциальных волн с  $J^P = 1^+, 2^-$  и проекцией спина  $M = 0$  в системе Готтфрида-Джексона, с положительной натуральностью частицы обмена. Поведение этих амплитуд моделировалось введением резонансного состояния  $a_1(1700)$  с параметрами

$$M = (1650 \pm 30) \text{ МэВ}, \quad \Gamma = (420 \pm 40) \text{ МэВ},$$

а также состоянием с  $J^{PC} = 2^{-+}$  с параметрами

$$M = (2020 \pm 20) \text{ МэВ}, \quad \Gamma = (410 \pm 40) \text{ МэВ}.$$

Волна с явно экзотическими квантовыми числами  $J^{PC} = 1^{-+}$  в системе  $f_1(1285)\pi^-$  значима в области масс 1,4-2,1 ГэВ и имеет слабую вариацию фазы относительно волны  $1^+$ . Наблюдаемая  $1^{-+}$ -волна имеет проекцию  $M = 1$  в системе Готтфрида-Джексона, что отвечает положительной натуральности обменной частицы.

3. Произведен анализ реакции:  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ \eta n$  при малых значениях переданного импульса от налетающего  $\pi^-$  к системе  $\pi^- \pi^+ \eta$ . При выделении малых значений  $|t'|$  в системе  $\pi^- \pi^+ \eta$  доминируют квантовые числа однопионного обмена  $J^{PC} = 1^{--}, 2^{++}, 3^{--}, 4^{++}$ . Быстрое изменение амплитуд и относительных фаз с ростом инвариантной массы  $\pi^- \pi^+ \eta$ -системы свидетельствует о большом вкладе резонансов в данные амплитуды.

Хорошо известный  $\rho_3(1690)$ -мезон наблюдается в распадах по каналам  $\rho \eta$  и  $a_2(1320)\pi$ ; его параметры, полученные из масс-зависимых фитов, согласуются со значениями из PDG таблиц. Впервые получено отношение

$$\frac{BR[\rho_3(1690) \rightarrow a_2(1320)\pi]}{BR[\rho_3(1690) \rightarrow \rho(770)\eta]} = 5,5 \pm 2,0.$$

Получены указания на сигнал от  $\rho_3(2250)$ -мезона, наблюдаемого в распаде на  $\rho(770)\eta$ , с параметрами

$$\begin{aligned} M &= (2290 \pm 20_{stat} \pm 30_{syst}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (230 \pm 50_{stat} \pm 80_{syst}) \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Наблюдается новая мода распада  $f_2(1565)$  мезона на  $a_2(1320)\pi$ . Получены значения его массы и ширины:

$$\begin{aligned} M &= (1550 \pm 10_{stat} \pm 20_{syst}) \text{ МэВ}, \\ \Gamma &= (130 \pm 20_{stat} \pm 40_{syst}) \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Имеются указания на наблюдение  $f_4(2300)$  мезона, распадающегося на  $f_2(1270)\eta$ , с параметрами

$$M = (2330 \pm 20_{\text{стат}} \pm 40_{\text{сис}}) \text{ МэВ},$$
$$\Gamma = (235 \pm 50_{\text{стат}} \pm 40_{\text{сис}}) \text{ МэВ}.$$

### Список литературы

- [1] S.I. Bityukov, G.V. Borisov, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, Yu.P. Gouz, R.I. Dzhelyadin, A.M. Zaitsev, Yu.M. Ivanyushenkov, A.N. Karyukhin, I.A. Kachaev, G.A. Klyuchnikov, V.F. Konstantinov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, A.A. Kriushin, V.V. Lapin, V.D. Matveyev, V.F. Obraztsov, A.P. Ostankov, **D.I. Ryabchikov**, V.K. Semenov, E.A. Starchenko, Yu.A. Khokhlov, G.M. Beladidze, T.A. Lomtadze, E.G. Tskhadadze.  
Recent results from VES Detector at IHEP. Proceed. of the IV Int. Conf. on Hadron Spectroscopy (HADRON 91), 1991, p. 51.
- [2] Yu.P. Gouz, E.B. Berdnikov, S.I. Bityukov, G.V. Borisov, R.I. Dzhelyadin, Yu.M. Ivanyushenkov, A.N. Karyukhin, I.A. Kachaev, Yu.A. Khokhlov, G.A. Klyuchnikov, V.F. Konstantinov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, A.A. Kriushin, V.V. Lapin, V.D. Matveyev, V.F. Obraztsov, A.P. Ostankov, **D.I. Ryabchikov**, V.K. Semenov, E.A. Starchenko, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, A.M. Zaitsev, G.M. Beladidze, T.A. Lomtadze, E.G. Tskhadadze.  
Study of the wave with  $J^{PC} = 1^{-+}$  in the partial-wave analysis of  $\eta'\pi^-$ ,  $\eta\pi^-$ ,  $f_1\pi^-$  and  $\rho^0\pi^-$  systems produced in  $\pi^-N$  interactions at  $p_{\pi^-} = 37$  GeV/c. Proceed. of the XXVI Int. Conf. on High Energy Physics. — Dallas, Texas, 1992, p. 572.
- [3] **D.I. Ryabchikov**, Yu.P. Gouz, V.A. Dorofeev, R.I. Dzhelyadin, I.A. Kachaev, A.N. Karyukhin, Yu.A. Khokhlov, G.A. Klyuchnikov, V.F. Konstantinov, S.V. Kopikov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, V.D. Matveev, A.P. Ostankov, A.A. Solodkov, O.V. Solovyanov, E.A. Starchenko, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, A.M. Zaitsev, G. Sehniaidze, E.G. Tskhadadze, B. Kulik.  
Study of exotic mesons on the VES setup. Proceed. of the 6-th Int. Conf. on Hadron Spectroscopy (HADRON 95). — Manchester, UK, 1995, p. 192.
- [4] A.M. Zaitsev, D.V. Amelin, E.B. Berdnikov, S.I. Bityukov, G.V. Borisov, Yu.P. Gouz, V.A. Dorofeev, R.I. Dzhelyadin, I.A. Kachaev, A.N. Karyukhin, Yu.A. Khokhlov, V.F. Konstantinov, S.V. Kopikov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, S.A. Likhoded, V.D. Matveyev, A.P. Ostankov, **D.I. Ryabchikov**, A.A. Solodkov, O.V. Solovyanov, E.A. Starchenko, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, G. Sekhniaidze, E.G. Tskhadadze.  
Search for exotic mesons in multiparticle final states. Proceed. of XXVIII Int. Conf. on High Energy Physics. — Warsaw, 1996.

- [5] **D.I. Ryabchikov**, D.V. Bugg, D.V. Amelin, E.B. Berdnikov, S.I. Bitjukov, G.V. Borisov, Yu.P. Gouz, V. Dorofeev, R.I. Dzhelyadin, A.V. Ekimov, A.N. Karyukhin, I.A. Kachaev, Yu.A. Khokhlov, V.F. Konstantinov, S.V. Kopikov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, S.A. Likhoded, V.D. Matveyev, A.P. Ostantkov, B.F. Polyakov, O.V. Solovyanov, A.A. Solodkov, E.A. Starchenko, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, A.M. Zaitsev, G. Sekhniaidze, E.G. Tskhadadze. Study of  $\eta\pi^+\pi^-$  system produced on the VES setup. Proceed. of the 7-th Int. Conf. on Hadron Spectroscopy (HADRON 97). — Brookhaven National Laboratory, USA, 1997, p. 603.

*Рукопись поступила 22 апреля 1999 г.*



Д.И. Рябчиков.

Экспериментальное исследование  $\eta\pi^-\pi^-\pi^+$  и  $\eta\pi^-\pi^+$  методом парциально-волнового анализа.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 29.04.99. Формат  $60 \times 84/8$ . Офсетная печать.

Печ.л. 1,75. Уч.-изд.л. 1,3. Тираж 100. Заказ 81. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

---

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

