



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

98-74

На правах рукописи

Хохлов Юрий Анатольевич

**ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА УСТАНОВКИ ВЕС.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕАКЦИИ $\pi^- A \rightarrow \eta\eta\pi^- A$**

01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 1998

УДК 539.1.07

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

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

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
В.В. Куликов (ИТЭФ), кандидат физико-математических наук Ю.М. Антипов
(ИФВЭ).

Ведущая организация – Институт ядерной физики МГУ (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 1998 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 “_____” _____ 1998 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 034.02.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1998

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Изучение многочастичных состояний легких мезонов, в том числе ранее не исследовавшихся — одна из наиболее актуальных в настоящее время задач адронной спектроскопии, в первую очередь, в связи с поиском экзотических объектов квантовой хромодинамики.

Интерес к изучению системы $\eta\eta\pi$ связан в основном с тем, что благодаря предполагаемой сильной двухглюонной связи η -мезона в ней можно ожидать проявления признаков экзотических состояний, обогащенных глюонным компонентом. Данные по структуре этой системы вносят вклад также в изучение свойств обычных мезонов.

Для всестороннего изучения подобных систем требуются адекватная постановка эксперимента и соответствующие методы анализа. Создание установки ВЕС ИФВЭ (включая трековую систему) и применение техники парциально-волнового анализа набранных на ней данных позволили провести исследование на современном уровне.

Цель диссертационной работы — экспериментальное исследование на установке ВЕС реакции

$$\pi^- A \rightarrow \eta\eta\pi^- A. \quad (1)$$

Автор защищает:

1. Создание и эксплуатацию системы трековых детекторов установки ВЕС.
2. Результаты исследования реакции $\pi^- A \rightarrow \eta\eta\pi^- A$ в экспериментальных данных, полученных на установке ВЕС.

Научная новизна и практическая ценность. Впервые проведён парциально-волновой анализ системы $\eta\eta\pi^-$. Определены квантовые числа резонанса в этой системе и его параметры, позволившие идентифицировать его с наблюдавшимся ранее в других системах $\pi(1800)$. Определены наиболее вероятные характеристики резонанса в системе $\eta\eta$, соответственно обозначенного $f_0(1460)$. Впервые определены значения отношений

$$R_1 = \frac{BR(\pi(1800) \rightarrow \eta\eta\pi^-)}{BR(\pi(1800) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^-)} \quad \text{и} \quad R_2 = \frac{BR(\pi(1800) \rightarrow a_0^-(980)\eta)}{BR(\pi(1800) \rightarrow f_0(1460)\pi^-)}.$$

Полученные результаты обогащают данные по свойствам лёгких изовекторных псевдоскалярных объектов, необходимые для классификации обычных мезонов и поиска и идентификации экзотических состояний.

Апробация работы и публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 3 работы. Основные результаты, использованные в диссертации, опубликованы в виде препринтов и статей [1,2,3], докладывались на семинарах ИФВЭ и международных конференциях.

Структура диссертации. Работа изложена на 66 страницах, состоит из введения, трёх глав и заключения, содержит 29 рисунков и список цитируемой литературы, включающий 56 наименований.

Содержание работы

Во введении отмечена важность изучения систем с повышенным содержанием η (η')-мезонов для спектроскопии лёгких мезонов. Перечислены основные эксперименты, выполненные в этом направлении. Указана новизна исследования системы $\eta\eta\pi^-$ в реакции её образования π^- -мезонами на ядре. Отмечены характеристики установки ВЕС, делающие её подходящим инструментом для такого изучения. Описана структура диссертации.

В первой главе кратко описана установка ВЕС, размещённая на канале 4Д протонного синхротрона У-70. Канал обеспечивает транспортировку и фокусировку пучка вторичных отрицательно заряженных частиц (преимущественно π^- -мезонов) в диапазоне импульсов $\sim 25-45$ ГэВ/с, с интенсивностью до $\sim 2 \cdot 10^6$ ч/сброс. Физические результаты, приведенные в диссертации, получены при импульсе π^- -пучка 37 ГэВ/с в сеансе 1990 года.

Установка способна регистрировать реакции взаимодействия пучковой частицы с ядерной мишенью с образованием заряженных частиц и γ -квантов в конечном состоянии.

Основные элементы установки ВЕС (рис.1):

- пропорциональные камеры, сцинтилляционный телескоп и вето-счётчики и пороговые черенковские счётчики в пучковой части;
- мишень **1** из бериллия диаметром 4,5 см и толщиной по пучку 5 см;
- окружающие мишень счётчики охранной системы **2**;
- расположенный после мишени сцинтилляционный пороговый счётчик **3**;
- электромагнит **4** с апертурой $2,5 \times 1$ м² и интегралом поля $\approx 2,3$ Т· м;
- система трековых детекторов магнитного спектрометра;
- расположенные после магнита сцинтилляционные вето-счётчики пучка;
- многоканальный пороговый черенковский счётчик вторичных частиц **5**;
- триггерный сцинтилляционный годоскоп **6** из 224 элементов;
- ячеистый электромагнитный калориметр **7** из свинцового стекла;
- высокоскоростная система сбора данных (ССД) на основе электроники системы МИСС.

Кратко описан слабовозмущающий триггер установки. Приведены основные характеристики электромагнитного калориметра, важные с точки зрения изучения реакций с участием γ -квантов.

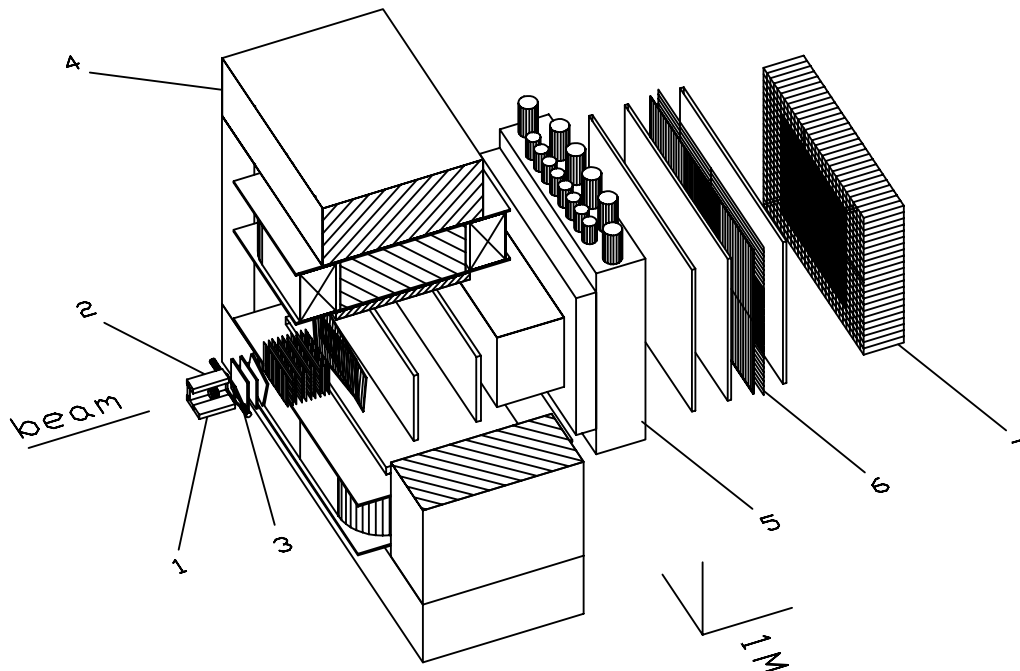


Рис. 1. Общий вид установки ВЕС (обозначения см. в тексте)

Вторая глава посвящена системе трековых детекторов установки [1]. В системе 8 измерительных плоскостей в пучковой части и 21 плоскость в спектрометрической части, всего около 7400 каналов съема информации. Описаны проволочные камеры различных типов, составляющие основу системы, с размерами активной области от $64 \times 64 \text{ мм}^2$ до $\sim 2,5 \times 2 \text{ м}^2$. Отмечены особенности их конструкции, технологии изготовления и применения в составе установки ВЕС. Приведены основные характеристики детекторов.

Рассмотрены различные подсистемы, среди которых: газовая, низковольтного и высоковольтного питания, тестовая, а также электроника усиления и приема данных. Рассмотрены функционирование системы и его контроль в физических сеансах.

Приведены общие характеристики системы:

- угловой аксептанс вылета вторичных частиц до ~ 150 мрад в вертикальной плоскости и ~ 200 мрад в горизонтальной;
- угловое разрешение в вертикальной и горизонтальной плоскостях составляет: для пучковой части системы $0,12$ мрад, для спектрометрической части $0,3$ мрад;
- импульсное разрешение магнитного спектрометра (в горизонтальной плоскости) $\sigma(p_{xz})$ (ГэВ/с) $\approx 4 \cdot 10^{-4} \times p_{xz}^2$ (ГэВ/с)².

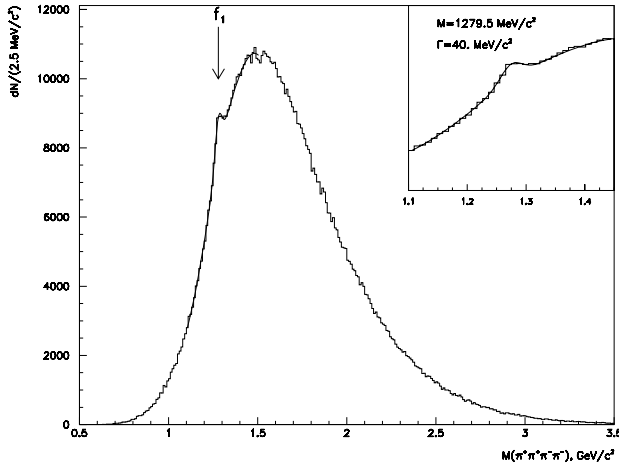


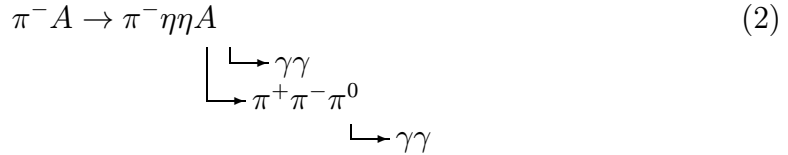
Рис. 2. Спектр эффективных масс системы $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$ в дифракционной реакции $\pi^-A \rightarrow A(2\pi^+)(3\pi^-)$.

Полное разрешение складывается как из собственно разрешения трековой системы, так и из многократного рассеяния в веществе установки. Разрешение по эффективной массе иллюстрируется на экспериментальных данных. Оно составляет $\sigma \approx 1,7 \text{ МэВ}/c^2$ для системы K^+K^- в области массы $\phi(1020)$ -мезона и $\sigma \approx 9 \text{ МэВ}/c^2$ для системы $2\pi^+2\pi^-$ в области массы $f_1(1285)$ -мезона (рис.2).

Разрешение по поперечному импульсу дифракционно образуемой системы $2\pi^+3\pi^-$ оценивается в $13 \text{ МэВ}/c$.

Показано, что специфичность конфигурации распада пучкового K -мезона на три заряженных пиона приводит к значительному ухудшению разрешения в этих событиях, потенциально интересных для калибровки установки.

Третья глава посвящена изучению на установке ВЕС реакции



Подробно описана процедура отбора событий для выделения требуемой реакции, исходя из её дифракционного характера. При этом уделено внимание отделению γ -квантов в калориметре от фоновых кластеров. Качество отбора продемонстрировано на распределениях событий по различным величинам. Распределение по полной энергии конечного состояния имеет характер пика на энергии пучка. В спектре эффективной массы двух γ -квантов наблюдаются отчётливые сигналы π^0 - и η -мезонов.

В двумерном распределении по $(M_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}, M_{\gamma\gamma})$ (рис.3а) наблюдается пик с максимумом на (M_η, M_η) . В соответствии с полученными аппаратными ширинами на полувысоте Γ для анализа брались события, лежащие в границах эллипса

$$R^2 \equiv \left(\frac{M_{3\pi} - M_\eta}{15 \text{ МэВ}/c^2} \right)^2 + \left(\frac{M_{\gamma\gamma} - M_\eta}{70 \text{ МэВ}/c^2} \right)^2 \leq 1,$$

всего около 4600. Количество фона, оцененное по числу событий в области $1 < R^2 < 2$, составляет $\approx 25\%$.

Описаны процедуры наложения 1С- и 2С-связей на эффективные массы систем: $M_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma} = M_\eta$ и $M_{\gamma\gamma} = M_\pi^0$.

Наблюдаемое распределение событий по квадрату переданного импульса $|t'|$ (рис. 3b) свидетельствует о заметном вкладе процесса когерентной дифракции на ядре Be с наклоном экспоненты $\approx 55 \text{ ГэВ}^{-2}$.

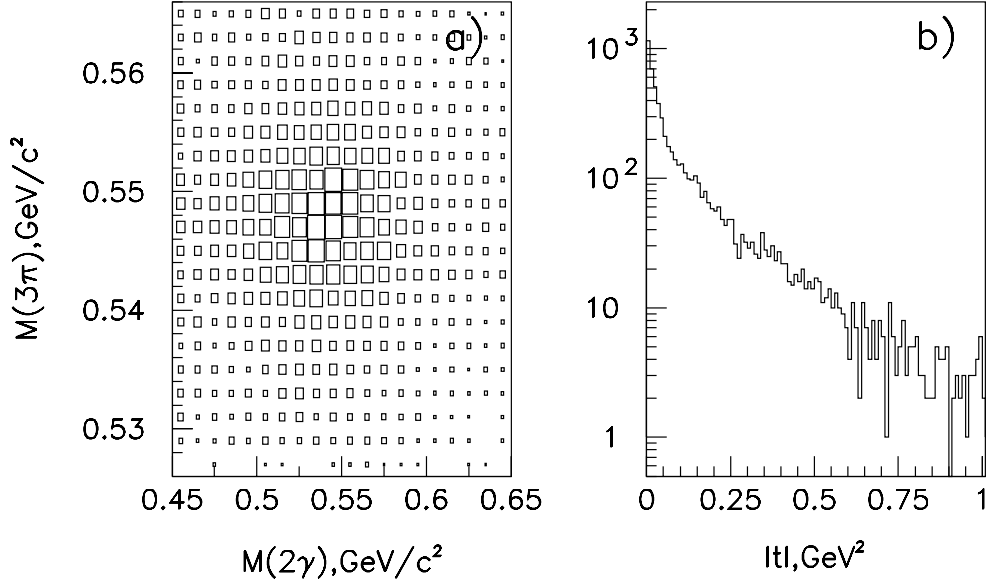


Рис. 3. (a) — 2-мерное распределение событий по $M(\gamma\gamma)$, $M(\pi^+\pi^-\pi^0)$ в области масс η - мезонов; (b) — $|t'|$ -распределение для событий $\eta\eta\pi^-$.

В спектрах эффективных масс $\eta\eta\pi^-$ и $\eta\eta$ (рис. 4a,b) отчётливо наблюдаются структуры соответственно на 1,8 и 1,45 $\text{ГэВ}/c^2$.

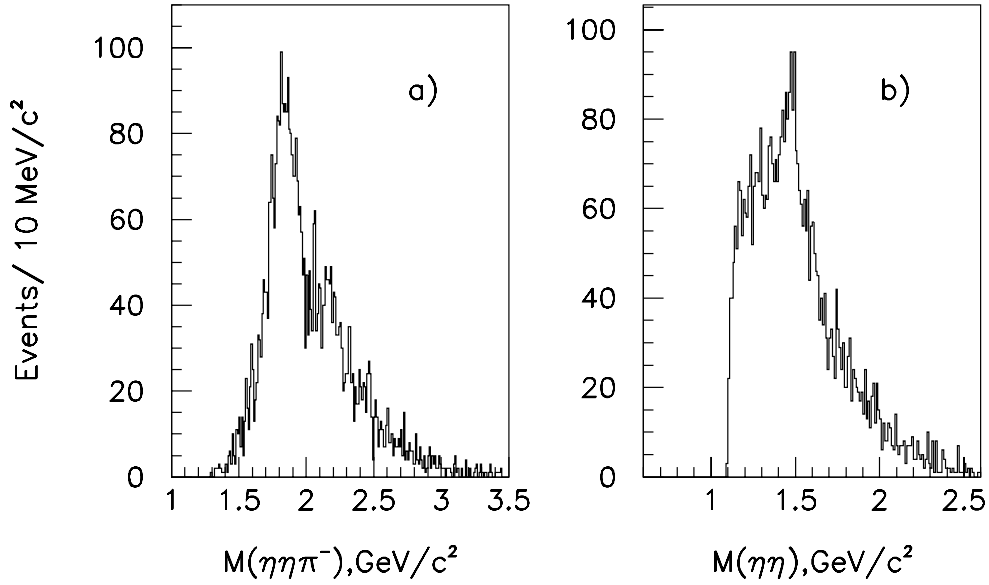


Рис. 4. Спектры эффективных масс $\eta\eta\pi^-$ — (a) и $\eta\eta$ — (b).

Проведен парциально-волновой анализ (ПВА) системы $\eta\eta\pi^-$ при $|t'| \leq 0,15 \text{ ГэВ}^2$. Описана модель ПВА, набор изобар и волн $J^P L M \eta(n)$, использовавшихся в нём. Для иллюстрации качества описания экспериментальных данных полученным решением на рис.5 показаны реальные и смоделированные распределения по некоторым переменным ПВА: массам систем $\eta\pi$ и $\eta\eta$, полярному (Готтфрида-Джексона, θ_{GJ}) и азимутальному (Треймана-Янга, ϕ_{TY}) углам мезона.

Показано, что в области масс $\eta\eta\pi^-$ 1,5–2,0 ГэВ доминирующей является волна с $J^{PC} = 0^{-+}$, имеющая резонансное поведение. Определены характеристики резонанса, распадающегося преимущественно по S -волновому каналу $a_0^-(980)\eta$ (рис.6а):

$$M_0 = 1850 \pm 10 \text{ (стат.)} \pm 20 \text{ (сист.) МэВ}/c^2 ,$$

$$\Gamma_0 = 220 \pm 30 \text{ (стат.)} \pm 30 \text{ (сист.) МэВ}/c^2 .$$

Структура в системе $\eta\eta$ описана введением резонанса $f_0(1460)$ с $J^P = 0^+$ и параметрами

$$M = (1460 \pm 20) \text{ МэВ}/c^2, \quad \Gamma = (100 \pm 30) \text{ МэВ}/c^2 .$$

Он даёт вклад в волну $0^- S(f_0\pi)$ (рис.6b). Определено отношение

$$\frac{BR(\pi^-(1840) \rightarrow f_0^{(\eta\eta)}(1460)\pi^-)}{BR(\pi^-(1840) \rightarrow a_0^{(\pi^-\eta)}\eta)} = 0,08 \pm 0,03.$$

С использованием данных эксперимента ВЕС по изучению системы $\eta\eta'\pi^-$ определено отношение

$$\frac{Br(\pi(1840) \rightarrow f_0(1460)\pi^- \rightarrow \eta\eta'\pi^-)}{Br(\pi(1840) \rightarrow f_0(1460)\pi^- \rightarrow \eta\eta\pi^-)} = 3,6 \pm 2.$$

В предположении, что наблюдаемый псевдоскалярный резонанс идентичен с наблюдаемым ранее на установке ВЕС $\pi(1800)$, получено отношение

$$\frac{Br(\pi(1800) \rightarrow \eta\eta\pi^-)}{Br(\pi(1800) \rightarrow \pi^-\pi^-\pi^+)} = 0,19 \pm 0,07 .$$

Наблюдаемые структуры сопоставлены с подобными объектами в других исследованиях. Рассмотрена их возможная интерпретация.

Обсуждены другие значимые волны: $2^- D(a_0\eta)$, доминирующая в области 2 – 2,5 ГэВ/ c^2 (рис.6с), и $2^- S(a_2\eta)$ (рис.6d).

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

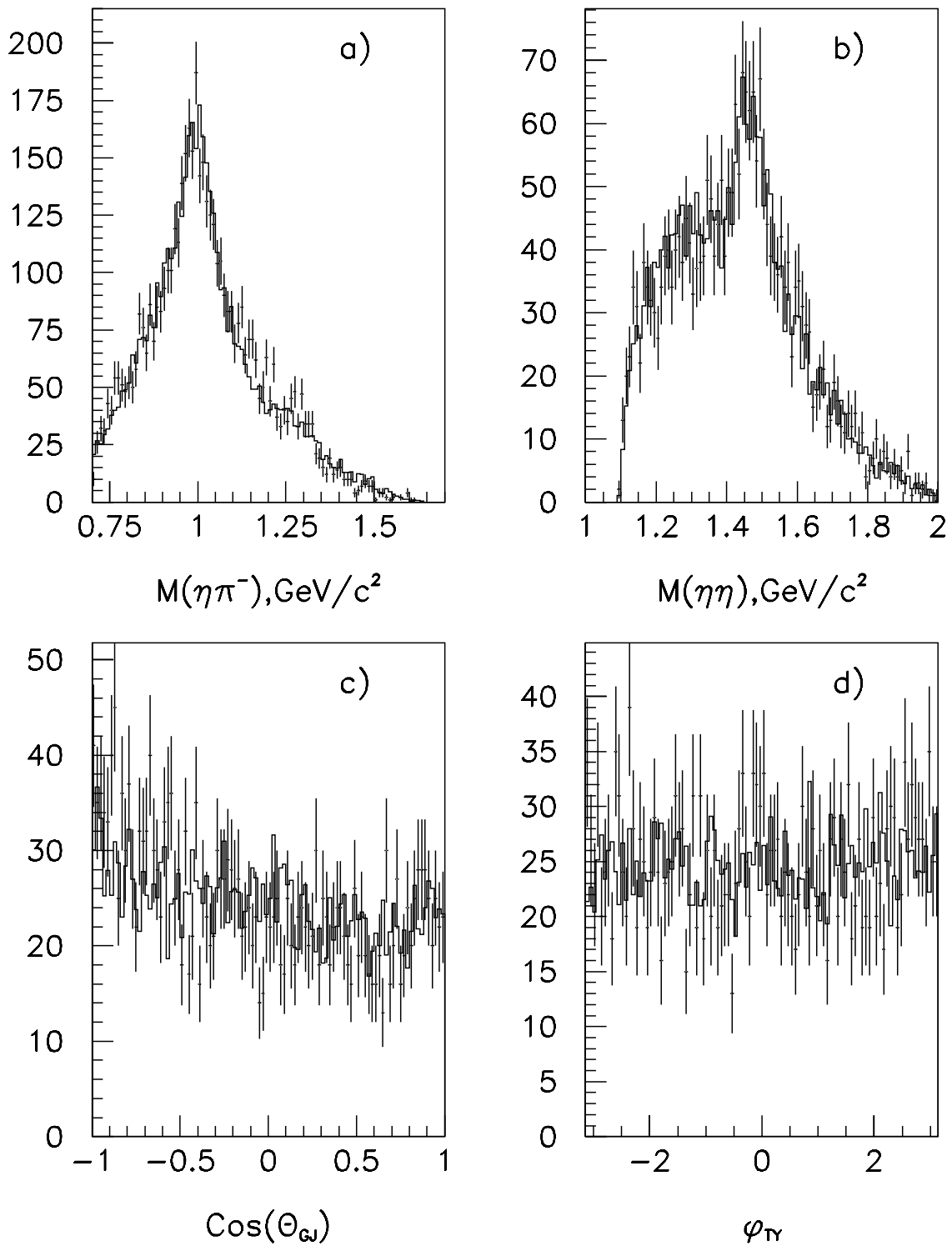


Рис. 5. Экспериментальные (точки с ошибками) и смоделированные по результатам подгонки (сплошная линия) распределения по переменным ПВА: массам систем $\eta\pi$ (a); $\eta\eta$ (b); полярному (c) и азимутальному (d) углам.

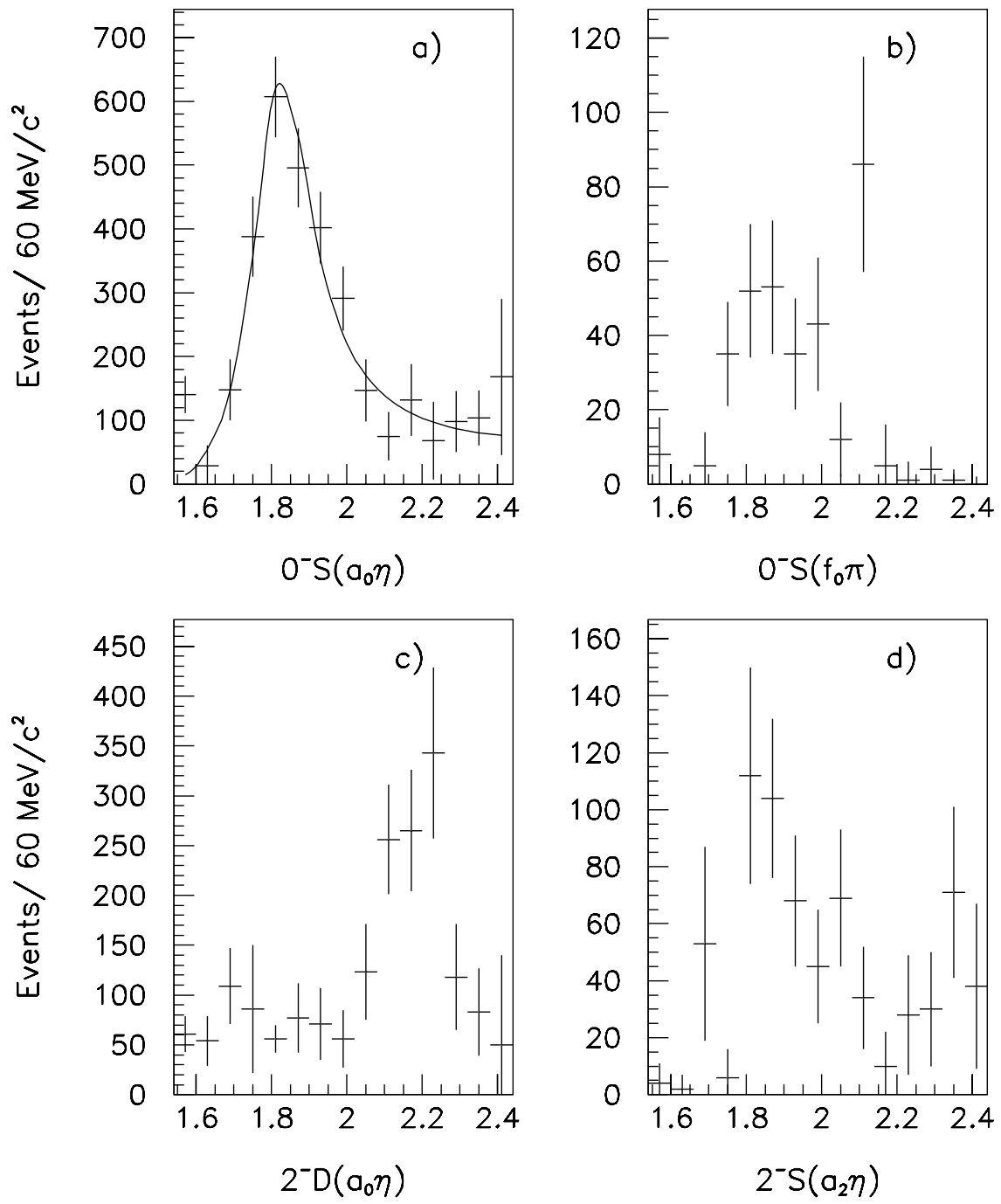


Рис. 6. Значимые волны ПВА системы $\eta\eta\pi^-$.

Список литературы

- [1] Г.В. Борисов, Н.К. Вишнеvский, Е.В. Власов, Ю.П. Гуз, Р.И. Джелядин, А.М. Зайцев, В.В. Костюхин, С.В. Копиков, Т.А. Ломтадзе, Б.Ф. Поляков, Г.Г. Сехниаидзе, **Ю.А. Хохлов**, Э.Г. Цхададзе.
Трековая система установки ВЕС: Препринт ИФВЭ 98-60, Протвино, 1998.
- [2] 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**, G.A. Klyuchnikov, V.F. Konstantinov, S.V. Kopikov, M.E. Kostrikov, V.V. Kostyukhin, V.D. Matveyev, A.P. Ostankov, D.I. Ryabchikov, A.A. Solodkov, O.V. Solovianov, E.A. Starchenko, N.K. Vishnevsky, E.V. Vlasov, A.M. Zaitsev, G. Sehniaidze, E.G. Tskhadadze.
Study of Exotic Mesons on the VES Setup. – In: Proceedings of the 6-th Int. Conf. on Hadron Spectroscopy HADRON-95, Manchester, UK, 1995.
- [3] Д.В. Амелин, Е.Б. Бердников, С.И. Битюков, Г.В. Борисов, Н.К. Вишнеvский, Е.В. Власов, Ю.П. Гуз, В.А. Дорофеев, Р.И. Джелядин, А.В. Екимов, А.М. Зайцев, Ю.М. Иванюшенков, А.Н. Карюхин, И.А. Качаев, Г.А. Ключников, В.Ф. Константинов, С.В. Копиков, М.Е. Костриков, В.В. Костюхин, А.А. Криушин, Т.А. Ломтадзе, В.Д. Матвеев, А.П. Останков, Д.И. Рябчиков, О.В. Соловьянов, Е.А. Старченко, **Ю.А. Хохлов**, Э.Г. Цхададзе.
Изучение дифракционной реакции $\pi^- A \rightarrow \eta\eta\pi^- A$ при импульсе $P_{\pi^-} = 37\text{ГэВ}/c$. IHEP Preprint 95-112, Protvino, 1995; // ЯФ. 1966, т.59, вып. 6, с. 1021.

Рукопись поступила 16 ноября 1998 г.

Ю.А. Хохлов

Трековая система установки ВЕС. Экспериментальное исследование реакции
 $\pi^- A \rightarrow \eta\eta\pi^- A$.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 16.11.98. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 1,12. Уч.-изд.л. 0,86. Тираж 100. Заказ 300. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

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

