



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

На правах рукописи
2000–50

Самойленко Владимир Дмитриевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ $\omega\eta$ -СИСТЕМ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ
В π^-p -ЗАРЯДОВООБМЕННЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ**

01.04.23 - физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 2000

УДК 681.3.06.069

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

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук С.А. Садовский.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук В.Н. Болотов (ИЯИ РАН), доктор физико-математических наук В.В. Аммосов (ИФВЭ).

Ведущая организация – ИТЭФ (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 2000 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 034.02.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142284, г. Протвино Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 034.02.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 2000

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из актуальных задач мезонной спектроскопии в настоящее время является поиск новых мезонных состояний, в том числе экзотических, свойства которых не укладываются в традиционную $q\bar{q}$ -систему. Экзотические мезоны отличаются рядом интересных свойств, таких как необычный набор мод распада, малое сечение образования и др. Исследование их свойств имеет важное значение для развития квантовой хромодинамики и описания спектра масс мезонов.

Целью работы является:

- выделение системы $\omega\eta$ в зарядовообменной реакции;
- экспериментальное изучение системы $\omega\eta$ при импульсах пучка π^- -мезонов 38 и 32 ГэВ/с.

Автор защищает:

1. Обнаружение нового мезонного состояния X(1650) в системе $\omega\eta$.
2. Измерение его массы и ширины.
3. Определение t -зависимости сечения образования X(1650).

Научная новизна затронутых в диссертации проблем определяется, прежде всего, важностью проделанной работы для мезонной спектроскопии и поиском экзотических состояний. Впервые была выделена исследуемая система в зарядовообменной реакции и проведен ее анализ по данным трех сеансов измерений.

Практическая ценность работы заключается в том, что представленные в диссертации результаты могут быть использованы для развития теоретических моделей спектроскопии экзотических состояний. Эти данные могут быть использованы при анализе событий на различных экспериментальных установках, а также при планировании новых экспериментов.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 2 работы в журналах “Доклады АН СССР” и “Доклады РАН”, сделано 3 доклада на научных конференциях [1,2,3], которые опубликованы в трудах этих конференций.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа изложена на 58 страницах, содержит 27 рисунков, 3 таблицы и список цитируемой литературы из 75 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена важность проблемы, которой посвящена диссертация, описана структура диссертации.

В первой главе дан краткий обзор современного состояния поисков экзотических мезонов. Рассмотрена система $\omega\eta$ в реакции дифракционного образования на установке WA57 и изложен ряд работ Коллаборации ГАМС в области поисков экзотических мезонов.

В принятой в настоящее время классификации экзотических состояний различают открытую и скрытую экзотику. В первом случае квантовые числа не могут быть реализованы в простой кварковой модели, например, $J^{PC} = 1^{-+}$ или изоспин $I > 1$ для мезонов. Во втором случае квантовые числа – обычные, но необычна внутренняя структура адрона, что и побуждает отнести его к разряду экзотических. Внутренняя структура может проявляться в выделенности специфических процессов рождения или каналов распада.

Поиски экзотических адронов ведутся по следующим направлениям:

- Радиационные распады J/Ψ -частиц.
- Экзотические каналы распада.
- Образование адронов в центральной области.
- Определение квантовых чисел резонансов, которые могут быть экзотическими.

На установке ГАМС большое внимание уделялось поиску экзотических состояний. Первым открытием было наблюдение кандидата в скалярный глюбол $G(1590)$ в моде $\eta\eta$.

Другие кандидаты $X(1750)$ и $X(1910)$ наблюдались в модах $\eta\eta$ и $\eta\eta'$. Большим достижением установки ГАМС было выделение системы $4\pi^0$ (мода 8γ). Анализ распределения по симметризованному косинусу распада позволил сделать вывод, что квантовые числа $J^{PC}(X(1810)) = 2^{++}$. $X(1810)$ не идентифицируется с каким-либо установленным резонансом с теми же квантовыми числами и распадающимися по каналам $\pi\pi$ или KK . Этот резонанс не наблюдается в моде $2\pi^+2\pi^-$, т.е. отсутствует распад по симметричному каналу ($\rho^0\rho^0$ в данном случае). Эти факты свидетельствуют об экзотической природе $X(1810)$ и возможности рассмотрения его как кандидата в тензорные глюболы.

Во второй главе описана постановка эксперимента на установке ГАМС-2000 и ее модернизированной версии ГАМС-4 π . Рассмотрены процедуры настройки нейтрального триггера и работа системы сбора данных.

Все данные были получены на пучке заряженных частиц канала 4В ускорителя У-70 ИФВЭ. Установка ГАМС-2000 была создана для исследований процессов перезарядки $\pi p \rightarrow M^0 n$ с последующим распадом нейтральной мезонной системы $M^0 \rightarrow n\gamma$. Небольшая ($\simeq 3\%$) доля K^- -

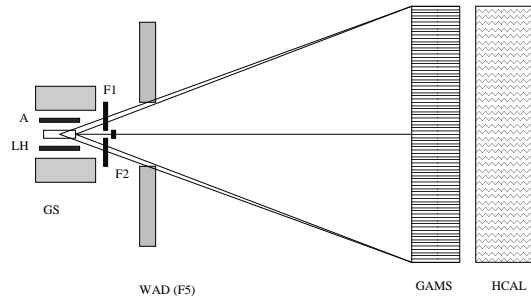


Рис. 1. Схема установки ГАМС-2000.

мезонов дает возможность изучать каонную перезарядку. Схема установки показана на рис. 1.

Тип частицы (π, K, \bar{p}) определяется черенковскими счетчиками C_1 и C_4 . После жидководородной мишени LH_2 находятся сцинтилляционные счетчики $F1, F2$, регистрирующие летящие вперед заряженные частицы. $F1$ и $F2$ включены в антисовпадения с сигналом $\prod_{i=1,5} S_i$ от пучковых счетчиков. Сцинтилляционные счетчики $A_1 - A_{12}$ регистрируют заряженные частицы, летящие вбок и попадающие в охранную систему GS , выполненную из свинцового стекла. Спектрометр ГАМС-2000 представляет собой матрицу 48×32 (позднее 48×48) счетчиков из свинцового стекла. Поперечное сечение счетчика имеет размер 38×38 мм², длина каждого счетчика 40 см. С торца каждый счетчик просматривается фотоумножителем ФЭУ-84-3.

Программы технического и физического контроля на рабочей станции позволяли оперативно проводить калибровку детекторов, отслеживать их техническое состояние, а по физическим гистограммам оценивать качество получаемых физических данных.

Рассмотрена калибровка ГАМС широким электронным пучком энергией 10 ГэВ. Калибровочные коэффициенты заносились в память процессора для выработки триггера последней ступени – с вычислением первого и второго моментов (M_o, M_R) события. Это позволяет контролировать в режиме реального времени качество калибровки (по ширине электронного пика) и чистоту триггера (по пику упругого рассеяния в ГАМС).

В третьей главе описана процедура геометрической реконструкции событий, предназначенной для восстановления 4-импульсов γ -квантов, зарегистрированных спектрометром ГАМС. Подробно рассмотрены источники фона, обусловленные как детектрирующими свойствами спектрометра (пороговая энергия регистрации γ -квантов и конечное пространственное разрешение), так и условиями, при которых проводился набор статистического материала (интенсивность пучка, качество нейтрального триггера и др.). Показано, что спектры масс 2γ - и 3γ -событий, представленные на рис. 2, являются эффективным тестом качества работы программы реконструкции и физических данных.

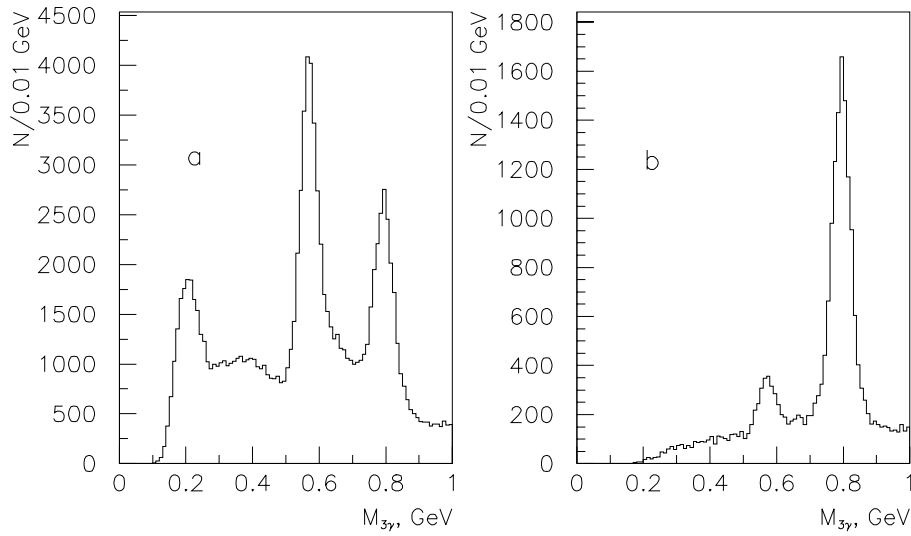


Рис. 2. а) Спектр масс 3γ -событий без отборов, применяемых для выделения $\omega\eta$ -системы (описание отборов см. ниже); б) то же с применением отборов.

Описана процедура кинематического фита, задачей которого является уточнение кинематических параметров реакции за счет привлечения дополнительной информации. С математической точки зрения эта задача сводится к условной минимизации функционала $\chi^2 = \sum_i (x_i - a_i)^2 / \sigma_i^2$, где x_i – измеренные величины, a_i – уточненные в результате фитирования значения измеренных величин (называемые параметрами фита), σ_i – ошибка в измерении величины x_i . Величинами x_i являются компоненты 4-импульса пучка, точка взаимодействия в мишени и восстановленные программой реконструкции энергии и координаты (x, y) γ -квантов. Дополнительные условия определяются исследуемой физической системой и записываются в виде уравнений связи на массу комбинации γ -квантов (обычно это парные массы): $(p_1 + p_2 + \dots)^2 = m_a^2$, $m_a^2/m_o^2 - 1 = 0$, где m_a и m_o – измеренная и табличная массы частиц, зарегистрированных в конечном состоянии.

Эффективность регистрации процесса была представлена в виде ряда Фурье $\epsilon(x) = \sum_{\lambda} \epsilon_{\lambda} f_{\lambda}(x)$ по полной системе функций $f_{\lambda}(x)$, ортонормированных на гиперкубе Δ_m . Коэффициенты разложения ϵ_{λ} соответственно равны

$$\epsilon_{\lambda} = \int_{\Delta} \epsilon(x) f_{\lambda}(x) dx. \quad (1)$$

Практические расчеты показывают, что в сравнительно простых случаях (в пространстве 3-4 измерений) предложенный метод хорошо работает.

В четвертой главе подробно рассматривается процедура выделения системы $\omega\eta$, которая ранее в зарядовообменных реакциях не наблюдалась. Выделение системы $\omega\eta$ представляет собой сложную задачу – необходимо при сохранении высокой эффективности изучаемой системы полностью подавить фон от других, на порядок более интенсивных, реакций.

5 γ -события были отобраны из $\approx 5 \cdot 10^7$ событий, зарегистрированных спектрометром ГАМС. Для подавления фона, связанного с условиями работы спектрометра (сильная загрузка центральной части ГАМС, гало пучка, шумы электроники), на первом этапе обработки были введены специальные требования на γ -кванты события.

Корреляции отборов γ -квантов позволяют изучить внутреннюю взаимосвязь различных обрезаний и компенсировать ослабление одних отборов усилением других для получения максимального эффекта.

Затем для уточнения значения энергии фотонов был выполнен 1С-фит. С технической точки зрения, удобно сразу подавить комбинаторный фон от интенсивно образующейся $\omega\pi^0$ -системы, поэтому события с двумя парными массами в окрестности π^0 -мезона ($80 < m_{\gamma\gamma} < 150$ МэВ) выбрасывались из дальнейшей обработки. Этим же отбором подавляется система $3\pi^0$ с потерянным γ -квантом. Как видно из табл.1, уровень подавления экспериментальных 5 γ -событий достигает $0.5 \cdot 10^{-3}$ при достаточно высокой (≈ 0.25) эффективности регистрации $\omega\eta$ -системы, определенной методом Монте-Карло.

Таблица 1. Влияние применяемых отборов на подавление событий

Отбор	MC, Supr _i	MC, Cut	Exp, Supr _i	Exp, Cut
1. $(x, y)_\gamma > (x, y)_{center}$	0.90	0.90	0.58	0.58
2. $E_\gamma > E_{th(R)}$	0.79	0.88	0.45	0.73
3. $R_{\gamma\gamma} > R_{th}$	0.77	0.99	0.34	0.76
4. $\chi_\gamma^2 < \chi_{th}^2$	0.55	0.69	0.21	0.48
5. $N = 5\gamma$	0.47	0.85	$0.21 \cdot 10^{-3}$	0.13
6. $E_{tot} \in (E_{min}, E_{max})$	0.40	0.87	$0.18 \cdot 10^{-1}$	0.81
7. $not(\pi^0\pi^0\gamma)$	0.31	0.77	$0.13 \cdot 10^{-2}$	$0.75 \cdot 10^{-1}$
8. $\eta\pi^0\gamma$	0.28	0.92	$0.94 \cdot 10^{-3}$	0.71
9. $E_{\gamma 5} > E_{th}$	0.28	≈ 1.0	$0.94 \cdot 10^{-3}$	≈ 1.0
10. $\chi_{3C}^2 < \chi_{th}^2$	0.28	≈ 1.0	$0.91 \cdot 10^{-3}$	0.98
11. $m_{\pi\gamma} \in m_\omega$	0.25	0.89	$0.51 \cdot 10^{-3}$	0.69

Примечание: Первые две колонки – данные Монте-Карло при моделировании процесса $\pi^-p \rightarrow M^0n \rightarrow \omega\eta n$, две последние колонки получены по данным апрельского сеанса 1984 г. Суммарный фактор подавления (первая и третья колонки) определяется как $Supr_i = \prod_{k=1}^i Cut_k$, где Cut_i – фактор подавления отбора i (вторая и четвертая колонки).

События, прошедшие 2С-фит (фиксированы массы нейтрона отдачи и π^0 -мезона), содержат систему $\pi^0 3\gamma$. Итоги проведенной работы показаны на рис., где четко выделяется пик, соответствующий выделению системы $\omega\eta$.

Уровень “подложки” под η - и ω -мезонами показывает качество отобранных событий. η -мезон (после 2С-фита) выделяется уверенно во всем интервале масс $\omega\eta$ -системы, фон составляет примерно 15%. В зави-

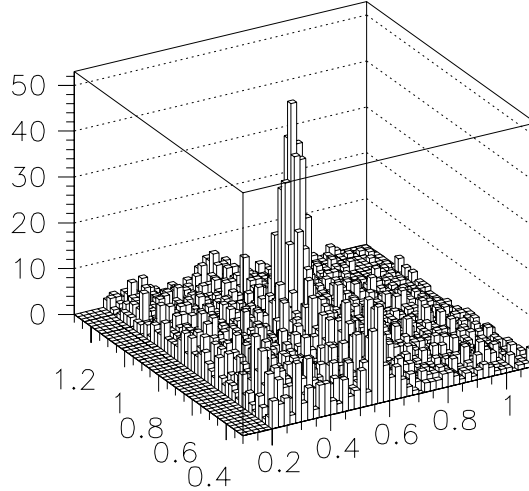


Рис. 3. Выделение $\omega\eta$ -системы, $m_{\gamma\gamma} - m_{\pi\gamma}$ после 2С-фита (фиксированы массы нейтрона и π^0 -мезона).

симости от $m_{\eta\omega}$ подложка под ω -мезоном ведет себя по-разному (рис. 4). В околопороговой области рассмотрение поведения фона осложняется малостью статистики.

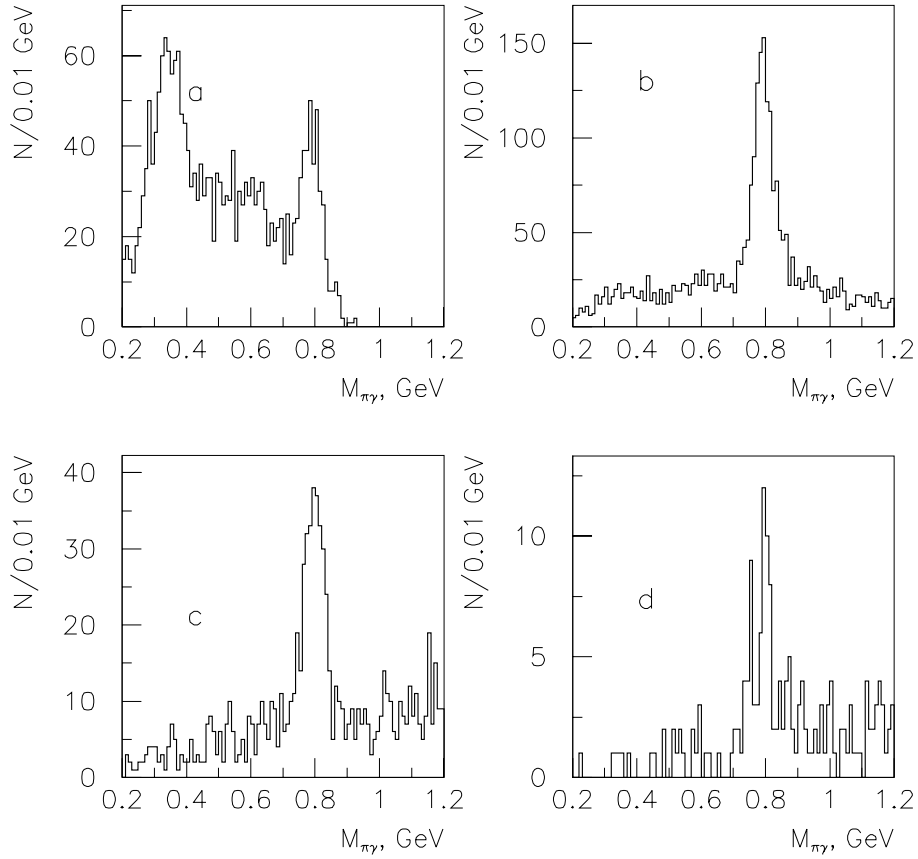


Рис. 4. Спектр масс $\pi^0\gamma$ после 3С-фита в разных массовых интервалах системы $\pi^0\eta\gamma$: а) $m_{\pi\eta\gamma} 1 - 1.5$ ГэВ; б) $m_{\pi\eta\gamma} 1.5 - 2.0$ ГэВ; в) $m_{\pi\eta\gamma} 2 - 2.5$ ГэВ; д) $m_{\pi\eta\gamma} > 2.5$ ГэВ.

Следующий этап обработки заключался в определении уровня подавления физического фона для событий системы $\omega\eta$, который можно разделить на события от систем, распадающихся на те же

5γ , и на события с большей множественностью, но потерянным γ -квантом. Примером первой фоновой системы является уже упоминавшаяся $\omega\pi^0$, с распадом по каналу 5γ . Ко второму классу относятся главным образом системы $3\pi^0$ и $\eta\pi^0\pi^0$, которые при потере одного фотона переходят в класс событий с пятью γ -квантами. На рис. 5 показано подавление системы $\eta\pi^0\pi^0$.

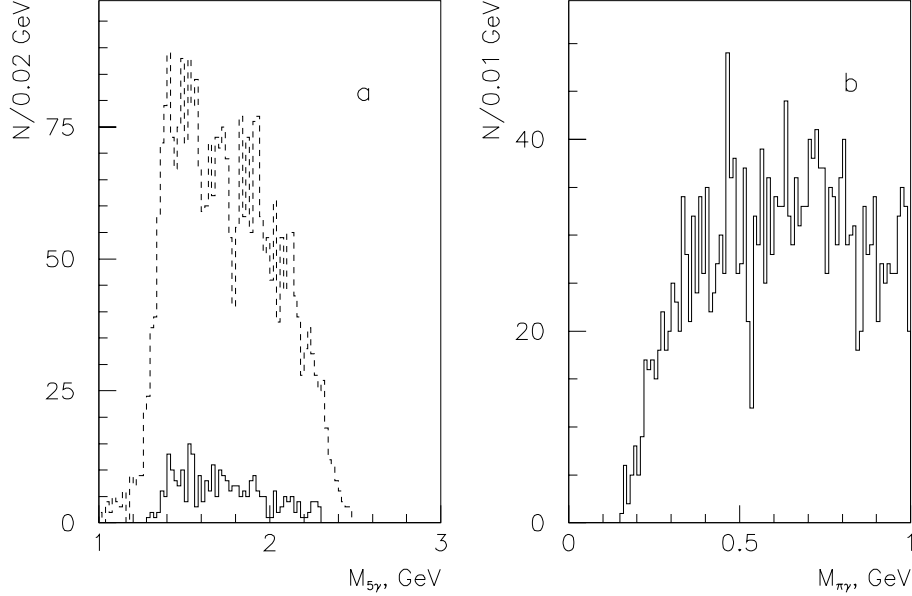


Рис. 5. а) Пунктирная линия – спектр масс 5γ -событий после реконструкции смоделированных событий процесса $\pi^- p \rightarrow \eta\pi^0\pi^0 n$; сплошная линия – спектр масс $\omega\eta$, 3С-фит, полученный из тех же смоделированных событий. б) Спектр масс подсистемы $\pi^0\gamma$, 2С-фит (фиксированы массы нейтрона и π^0 -мезона).

Кратко обсуждается возможность выделения системы $\omega\eta'$, предложен способ подавления комбинаторного фона для этой системы.

Представленные в диссертации результаты основаны на обработке трех сеансов, проведенных на установке ГАМС. Во всех сеансах наблюдается пик с массой около 1650 МэВ и шириной, близкой

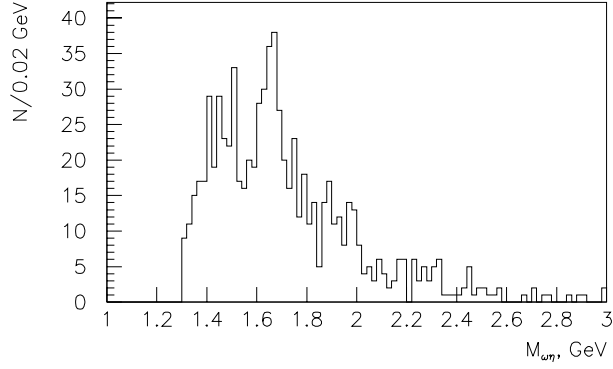


Рис. 6. Спектр масс $\omega\eta$ после ЗС-фита, $|t| > 0.10$ (ГэВ/с)², сеанс 1993 г.

к аппаратному разрешению спектрометра для каждого сеанса (см. рис.6). В области масс 1600 МэВ разрешение спектрометра составляет примерно $\sigma = 40$ МэВ после ЗС-фита. Структура в области масс 2200 МэВ не обсуждается из-за малого количества событий.

Спектр масс $\omega\eta$ -системы в области 1500-1800 МэВ фитировался суммой полинома, описывающего континуум, и гауссом – для определения ширины и массы резонанса. Масса наблюдаемого в настоящем эксперименте $X(1650)$ -мезона получена равной

$$M = 1652 \pm 7 \text{ МэВ.} \quad (2)$$

Точность массовой шкалы спектрометра была проверена по распадам $\eta \rightarrow 3\pi^0$ и $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$, которые имеют близкую множественность γ -квантов. Массы η , η' равны табличным с точностью не хуже 1%.

Ширина пика совпадает с аппаратурным разрешением спектрометра ГАМС, верхняя граничная оценка ширины $X(1650)$ -мезона составляет

$$\Gamma < 70 \text{ МэВ.} \quad (3)$$

Зависимость сечения образования $X(1650)$ от переданного импульса t показана на рис. . Зависимость описывается экспонентой e^{bt} с наклоном

$$b = 3 \pm 1 \text{ (ГэВ/с)}^{-2}. \quad (4)$$

Экстраполяция сечения образования при $t \rightarrow 0$ дает величину сечения образования $X(1650)$ -мезона

$$\sigma(\pi^- p \rightarrow X(1650)n) \cdot BR(X(1650) \rightarrow \omega\eta) = 10 \pm 3 \text{ нб.} \quad (5)$$

Это достаточно малая величина, и в этом отношении $X(1650)$ ведет себя подобно двум другим открытым на установке ГАМС мезонам – $X(1750)$ и $X(1910)$, которые были рассмотрены выше. t -зависимость сечения образования $X(1650)$ достаточно пологая, что говорит в пользу преимущественного образования исследуемого мезона в области больших передач импульса.

Статистическая обеспеченность $X(1650)$, 100 ± 15 событий по трем сеансам, явно недостаточна для проведения полноценного парциально-волнового анализа этого мезонного состояния. Но проведенный анализ угловых распределений исключает возможность нулевого спина, т.е. явной экзотики.

Учитывая наблюдаемые каналы распадов $X(1650)$ -, $X(1750)$ - и $X(1910)$ -мезонов, можно сделать вывод о схожести указанных состояний. Сами же реакции зарядовообменного πN -рассеяния при больших передачах импульса представляются весьма перспективными для поиска новых экзотических состояний.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы:

1. Разработан и реализован способ выделения редкой системы $\omega\eta$ в зарядовообменной реакции.

2. Обработаны данные трех сеансов измерений, проведенных на ускорителе ИФВЭ в период 1984-1993 гг. В ходе обработки из примерно $5 \cdot 10^7$ событий отобрано около 3 тысяч событий $\omega\eta$ -системы.

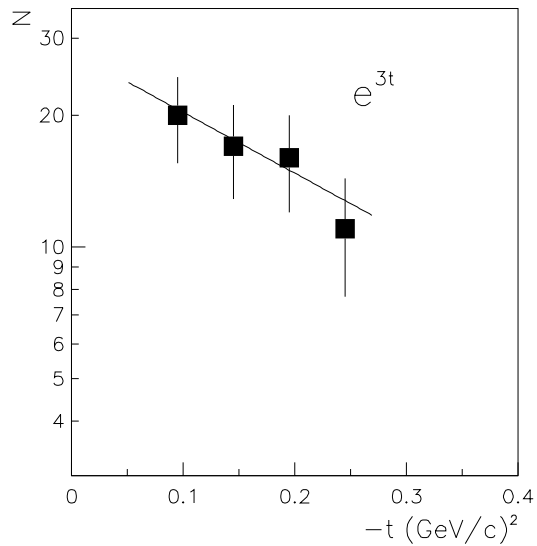


Рис. 7. t -зависимость сечения образования для $X(1650)$, сеанс 1993 г.

3. Обнаружен новый мезонный резонанс $X(1650)$ в системе $\omega\eta$.
Измерены масса и ширина

$$M = 1650 \pm 7 \text{ МэВ}, \quad \Gamma < 70 \text{ МэВ}. \quad (6)$$

4. Измерена t -зависимость сечения рождения $X(1650)$

$$\frac{d\sigma}{dt} \sim e^{bt}, \quad b = 3 \pm 1 \quad (\text{ГэВ/с})^{-2}. \quad (7)$$

Полное сечение образования $X(1650)$ с последующим распадом по каналу $\omega\eta$ получено экстраполяцией этой зависимости к $t = 0$ и равно 10 ± 3 нб.

5. Установлено, что спин $X(1650)$ не равен нулю, и, как следствие, квантовые числа этого состояния не являются экзотическими в явном виде.

Список литературы

- [1] Прокошкин Ю.Д., Самойленко В.Д. // ДАН. 1991. Т. 318. С. 1367-1370; Препринт ИФВЭ 91-37, Протвино, 1997.
- [2] Прокошкин Ю.Д., Самойленко В.Д. // ДАН. 1996. Т. 348. С. 439-441.
- [3] Prokoshkin Yu.D., Samoilenko V.D. Proc. Sixth Intern. Conf. on Hadron Spectroscopy HADRON'95, Manchester (1995) 439-441; Prokoshkin Yu.D., Samoilenko V.D. Proc. Intern. Europhysics Conf. on High Energy Physics, Brussels (1995) 77-78; Physics-Doclady, 348, V.2 (1996) 481-484.
- [4] Самойленко В.Д. — Препринт ИФВЭ 86-182, Серпухов, 1986.

Рукопись поступила 13 ноября 2000 г.

В.Д.Самойленко

Исследование $\omega\eta$ -систем, образующихся в π^-p -зарядообменных взаимодействиях.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Л.Ф.Васильева.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 15.11.2000 г. Формат $60 \times 84/16$. Офсетная печать.
Печ.л. 0,74. Уч.-изд.л. 0,62. Тираж 100. Заказ 222. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

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

Индекс 3649

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 2000-50, И Ф В Э, 2000
