ОТЧЕТ
по эксперименту E852 "Поиск мезонов с необычными квантовыми числами(ГЛЮБОЛ)" за 1996 г.
(Московская группа E852 коллаборации)

В.А.Бодягин, И.Н.Варданян, А.М.Грибушин. А.И.Демьянов, А.А.Ершов, О.Л.Кодолова, В.Л.Коротких, М.А.Костин, А.И.Островидов, Л.И.Сарычева, Н.Б.Синев
(НИИ ядерной физики Московского Государственного Университета, Москва)

С.П.Денисов, А.Душкин, В.Кочетков, И.Шейн, А.Солдатов
(Институт физики высоких энергий, Протвино)
S.U.Chung, R.W.Hackenburg, C.Olchanski, D.P.Weygand, H.J.Willutzki
(Department of Physics, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York)
T.Adams, J.M.Bishop, N.M.Cason, J.M.LoSecco, J.J.Manak, A.H.Sanjari, W.D.Shephard, D.L.Stienike, S.A.Taegar, D.R.Thompson
(Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana)
B.B.Brabson, R.R.Crittenden, A.R.Dzierba, J.Gunter, R.Lindenbusch, D.R.Rust, E.Scott, P.T.Smith, T.Sulanke, S.Teige
(Department of Physics, Indiana University, Bloomington, Indiana)
Z.Bar-Yam, J.P.Cummings, J.P.Dowd, P.Eugenio, M.Hayek, W.Kern, E.King
(Department of Physics, University of Massachusetts, North Dartmouth, Massachusetts)
D.S.Brown, T.K.Pedlar, K.K.Seth, J.Wise, D.Zhao
(Department of Physics, Northwestern University, Evanston, Illinois)
G.S.Adams, J.Napolitano, M.Nozar, J.A.Smith, M.Witkowski
(Department of Physics, Renselaer Polytechnic Institute, Troy, New York)

1 Введение

В 1996 г. группа физиков из Московского университета (рук. проф. Л.И. Сарычева) продолжила участие в совместном российско-американском зксперименте E852 на ускорителе AGS в Брукхэвенской Национальной Лаборатории (США). Основная работа заключалась в анализе данных, полученных на установке в 1994 г. При этом усилия физиков МГУ были сосредоточены на изучении следующих каналов реакции:

$$\pi^- p \quad \to \quad \pi^-\pi^+\pi^- p \tag{1}$$

$$\pi^- p \quad \to \quad \pi^-\eta p \quad \to \quad \pi^-(2\gamma)p \tag{2}$$

$$\pi^- p \quad \to \quad \pi^0\eta n \quad \to \quad \pi^0\pi^+\pi^-\pi^0 n \tag{3}$$

при импульсе пучка 18.3 ГэВ/с.

Подробное описание экспериментальной установки, программа физических исследований и первые результаты опубликованы в работах [1-6] и в материалах международной конференции Адрон-95 [7-11]. Данные 1994 г. составляют около 20 % всей набранной статистики за два года (1994/1995 г.г.) Тем не менее, число событий для ряда каналов реакции оказалось достаточным, чтобы получить предварительные результаты с помощью ПВА.

Целью такого анализа является исследование мезонных состояний с экзотическими квантовыми числами, в частности с $J^{PC} = 1^{-+}$, запрещенных в традиционной кварковой модели. (Подробнее см. в [1-11] и ссылки в них.)

2 Физические результаты, полученные сотрудниками МГУ

1. Реакция $\pi^- p \to \pi^-\pi^+\pi^- p$

Первые результаты ПВА в канале $\pi^-\pi^+\pi^-$ (500 т. событий) опубликованы в работах [6,8]. В настоящей работе представлены уточненные результаты ПВА. Резонансы $a_1(1160), a_2(1320)$ и $\pi_2(1670)$ ясно видны в волнах $1^{++}, 2^{++}, 2^{-+}$ (рис.1), а резонансы $\pi(1300)$, $\pi(1800)$ в волне 0^{-+} (рис.2). Особое внимание мы обращаем на экзотическое состояние 1^{-+}, которое имеет два пика при массах 1.3 ГэВ и 1.6 ГэВ (рис.1а). Пику $1-+$ при 1.6 ГэВ соответствует характерное движение относитеьной фазы между $(1^{-+} - 2^{++})$ и $(1^{-+} - 2^{-+})$ волнами, свидетельствующее о резонансной природе этого состояния (рис.2с и 2d).

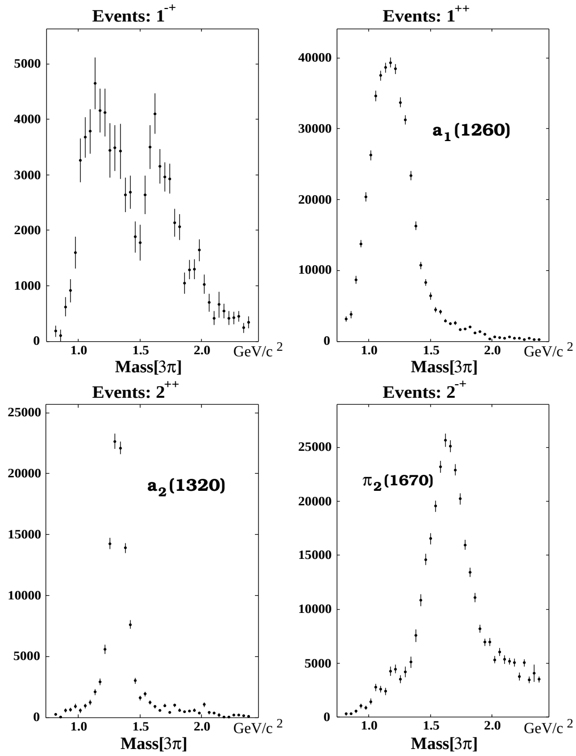

Рис.1. Значения интенсивностей волн как функция массы системы $\pi^-\pi^+\pi^-$.

Отметим, что для выполнения парциально-волнового анализа (ПВА) необходим строгий отбор эксклюзивных событий и хорошее знание особенностей установки для вычисления её аксептанса. Требуется многократное повторение расчетов, связанное с уточнением аксептанса и условий отбора событий. После ПВА необходимо исследование свойств экзотической волны и доказательство резонансной природы наблюдаемого пика в спектре масс.

Результаты одновременного фита массовой зависимости интенсивностей волн $2^{++}, 1^{-+}$ и их относительной фазы представлены на рис.3(a,b,c). Обозначения квантовых чисел см. в [6]. Подгонка проведена с помощью релятивистской Брейт-Вигнеровской амплитуды, параболической формы фона и линейной фазы рождения. Фазы резонансов $2^{-+}, 1^{-+}$, а также фаза рождения (прямая линия) показаны на рис.3d. Параметры резонансов $2^{-+}, 1^{-+}$ показаны на рис.3a и 3b. Результаты настоящего исследования готовятся к публикации.

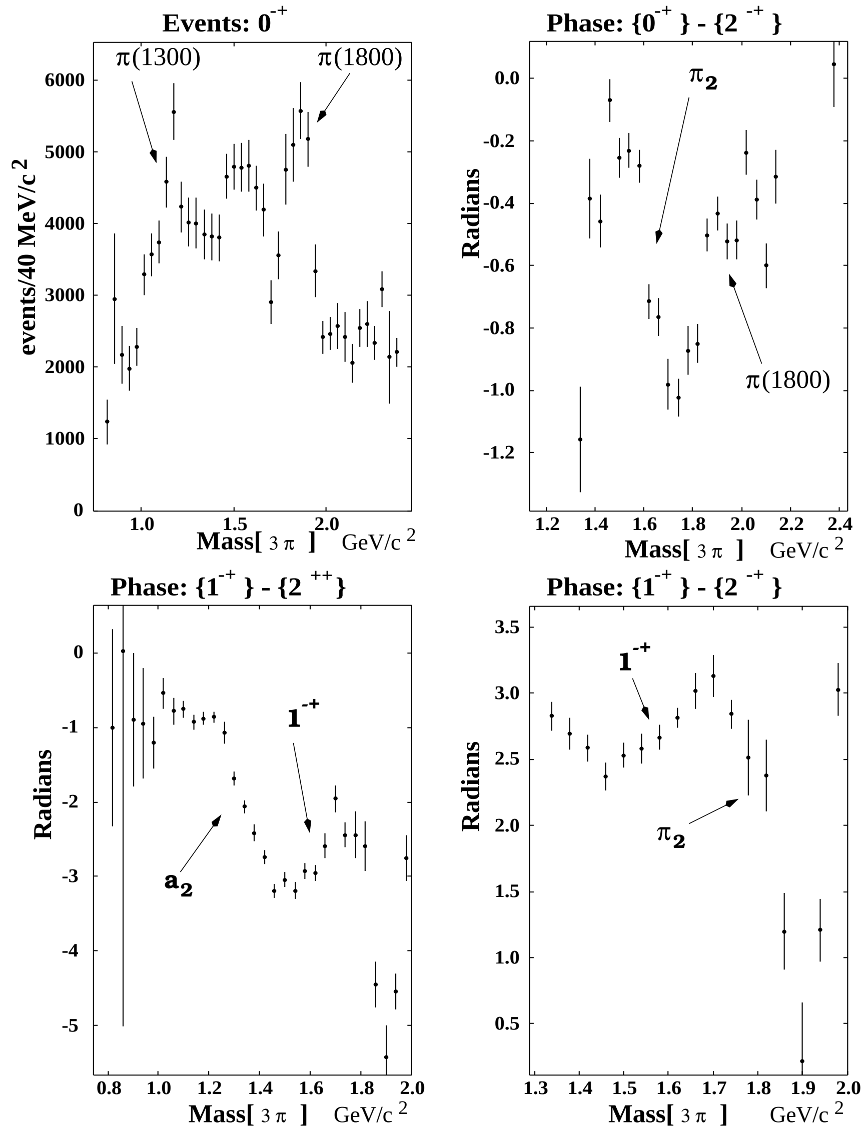

Рис.2. Значение интенсивности волны 0^{-+} и относительные фазы в канале $\pi^-\pi^+\pi^-$.

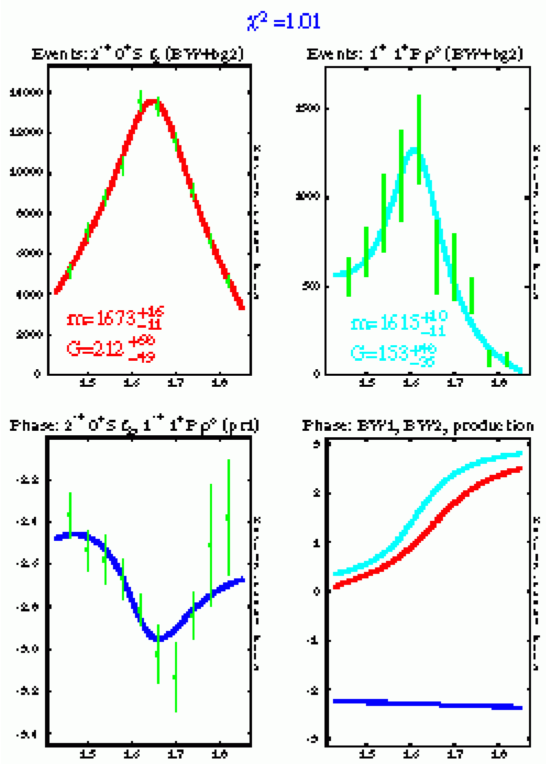

Рис.3. Массовая зависимость волн 2^{-+} (a), 1^{-+} (b) и их относительной фазы (c) в канале $\pi^-\pi^+\pi^-$. Фазы резонансов 2^{-+} (жирная-красная кривая), 1^{-+} (блеклая-голубая кривая) и фаза рождения (прямая-синия линия)(d)

2. Реакция $\pi^- p \to \pi^-\eta p$

Для ПВА было отбрано 45 тысяч событий. В спектре масс $\pi^-\eta$ доминирует $a_2(1320)$ резонанс (рис.4). Пунктиром изображен фон, вычисленный по экспериментальным данным в области массы двух γ- квантов вне области массы η мезона. В ПВА вклад фоновых событий вычитался.

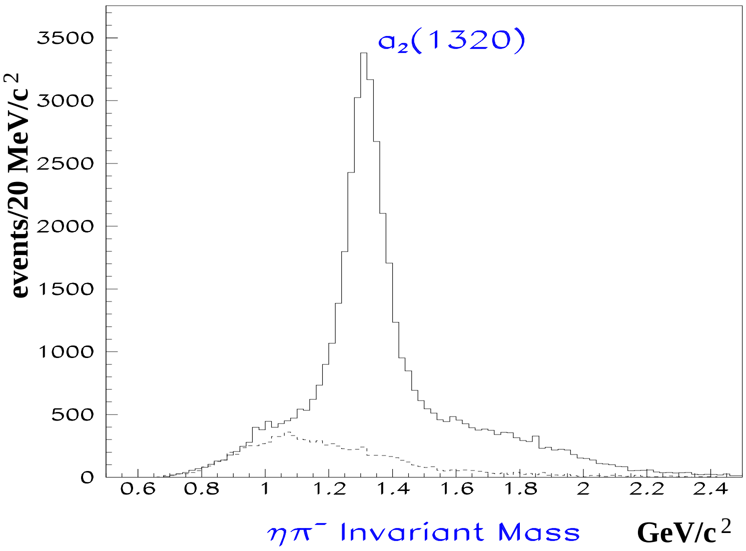

Рис.4. Спектр масс системы $\pi^-\eta$

Результаты ПВА для двух волн $D^+ = 2^{++}, P^+ = 1^{-+}$ и их относительной фазы показаны на рис.5(a,b,c).

Пик волны 1^{-+} находится при том же значении массы, что и пик $a_2(1320)$ резонанса. Поэтому было выполнено специальное исследование, показавшее, что аксептанс может дать ложный вклад волны 1^{-+} в области массы 1.3 ГэВ, но не более, чем около 20% от наблюдаемой её интенсивности.

Результаты одновременной подгонки массовой зависимости $2^{++}, 1^{-+}$ волн их относительной фазы показаны на рис.6(a,b,c).

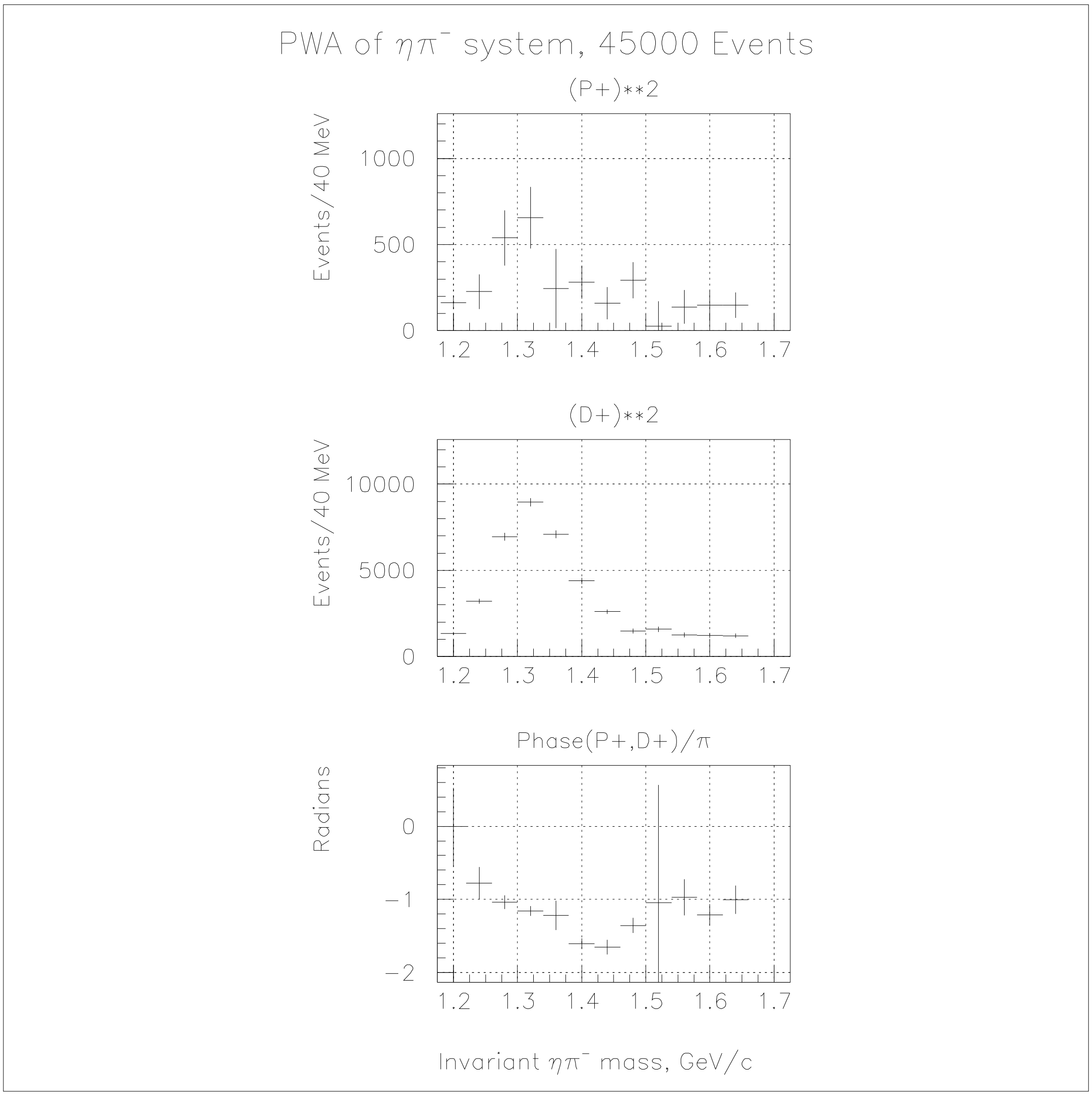

Рис.5. Результаты ПВА для системы $\pi^-\eta$. Значения интенсивностей : $a)|P^+|^2, 1^{-+}$-, b)$|D^+|^2, 2^{++}$ волн и c) их относительной фазы.

Фазы резонансов $\delta_1(m)$ и $\delta_2(m)$ и относительная фаза рождения $\Delta(m)$ представлены на рис.6d. Отметим, что фаза рождения не сильно меняется на ширине резонанса (менее, чем на 0.15 радиан). Это находится в рамках Реджевской феноменологии.

Поведение фазы 1^{-+} волны соответствует резонансной интерпретации. Параметры резонансов $2^{++}, 1^{-+}$ смотрите на рис.6a и 6b. Результаты настоящего исследования готовятся к публикации.

3. Реакция $\pi^- p \to \pi^0 \eta p$

Канал $\pi^0\eta$ очень важен для исследования свойств состояния 1^{-+}. В силу изотопической инвариантности это состояние должно наблюдаться в равной степени в каналах

$$\pi^- p \quad \to \quad X^- p \quad \to \quad \pi^- \eta p \tag{4}$$

$$\pi^- p \quad \to \quad X^0 n \quad \to \quad \pi^0 \eta n \tag{5}$$

Одним из возможных каналов распада η мезона может быть канал , когда он распадается на (π^-, π^+, π^0).

К настоящему времени получены первые результаты ПВА для реакции

$$\pi^- p \quad \to \quad \pi^0 \eta n \quad \to \quad \pi^0 \pi^+ \pi^- \pi^0 n \tag{6}$$

На рис.7 показана зависимость волн 1^{-+} (a), 2^{++} (b) и их относительной фазы (c) от массы системы $\pi^0\eta$.

Изменение фазы в области пика 1^{-+} не противоречит резонансной интерпретации состояния 1^{-+} и требует дальнейшего исследования.

3 Организация обработки данных в ЛАВ НИИЯФ МГУ

Анализ результатов выполнялся в БНЛ сотрудниками НИИЯФ МГУ, находившимися в командировке в США (Островидов А.И., Коротких В.Л., Костин М.А.)

В Москве велась подготовка техники для проведения физического анализа в стенах Московского университета.

Закуплено компьютерное оборудование (на сумму около \$10000) и организован локальный вычислительный комплекс для обработки данных , суммарной производительностью 145 M Whetstoune. Учитывая колоссальный объем полученной в E852 информации, планируется довести эту производительность до 500 M Whetstoune.

В рамках сотрудничества E852 из БНЛ получена техника на сумму около \$7500 (EXABEIT-85-05 и два жеских диска 2GB и 9 GB).

В настоящее время ведется адаптация имеющихся в БНЛ программ обработки для системы LINAX, в которой работает вычислительный комплекс лаборатории.

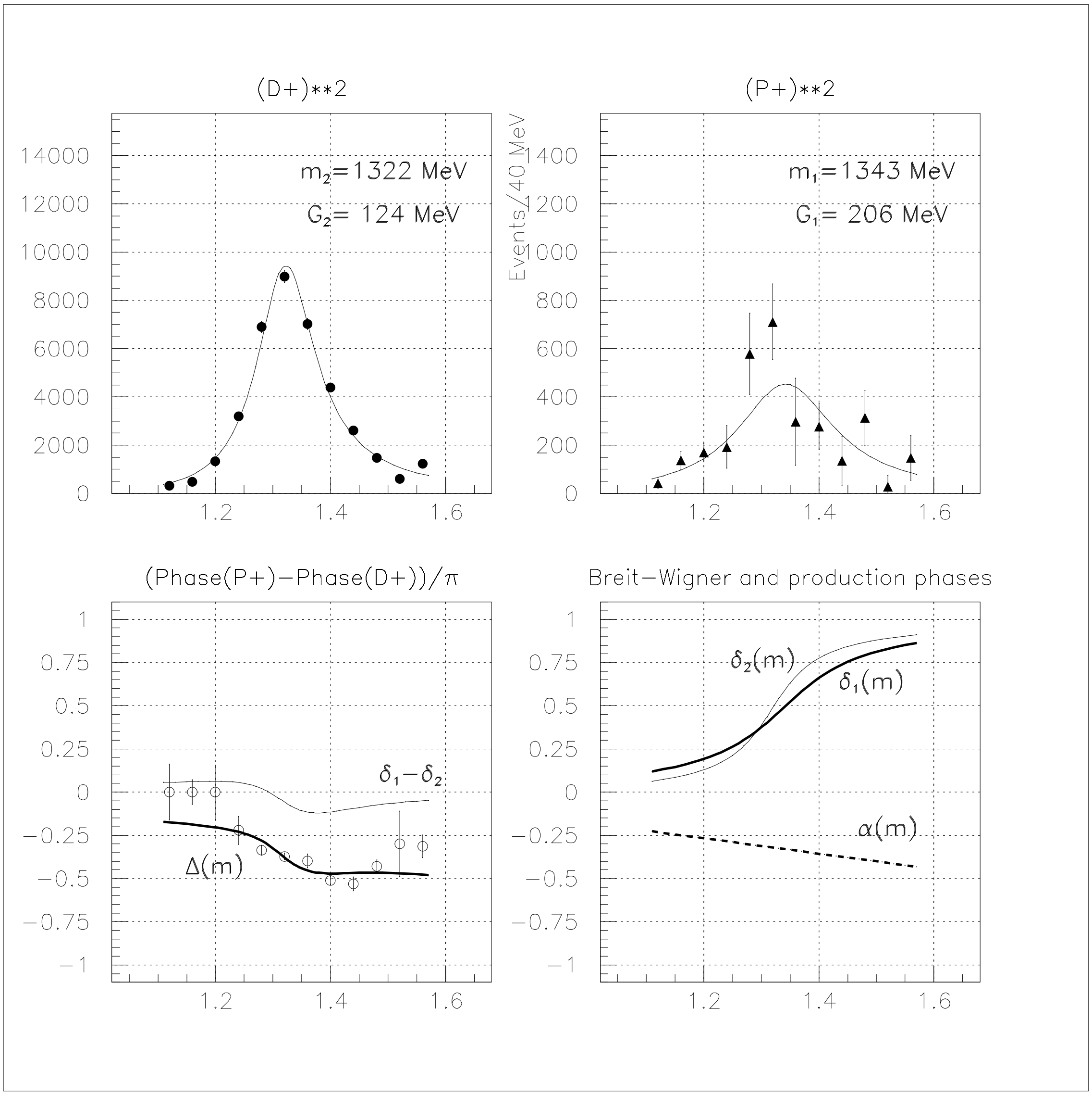

Рис.6. Массовая зависимость волн 2^{++} (a), 1^{-+} (b) и их относительной фазы (c) в канале $\pi^-\eta$. Индекс 1 соответствует 1^{-+}, а индекс 2 - 2^{++} состоянию.

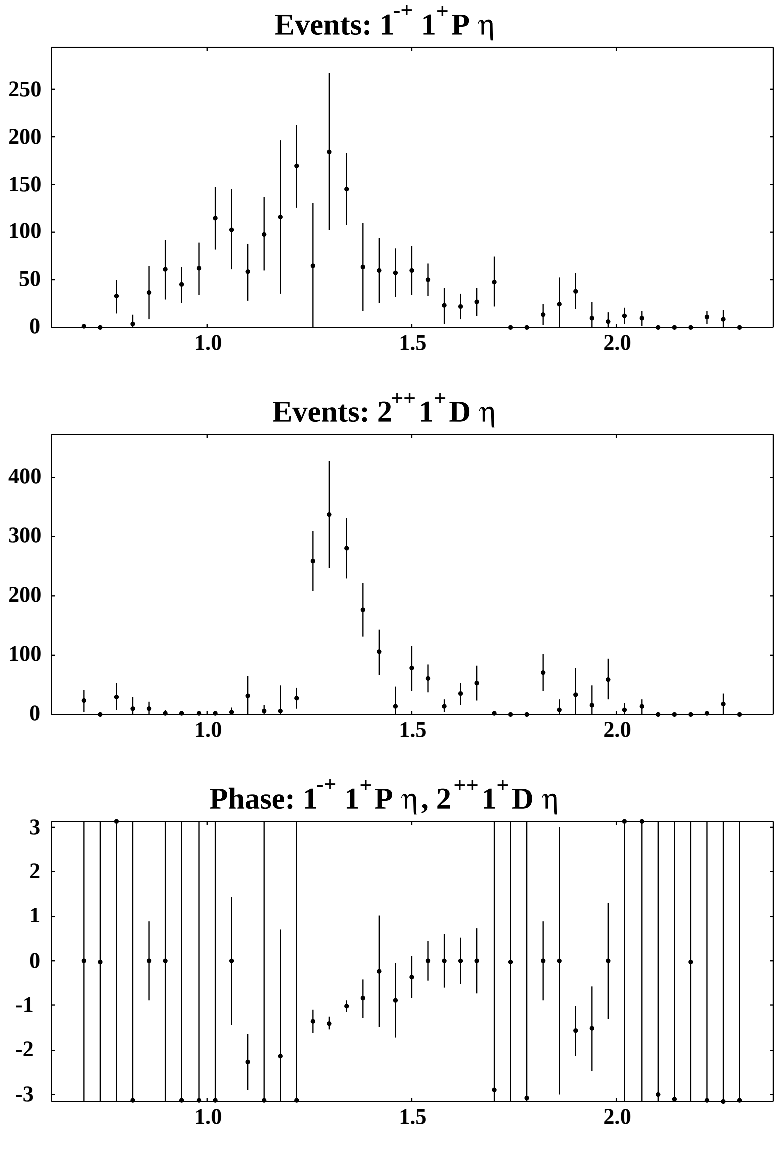

Рис.7. Результаты ПВА для системы $\pi^0\eta$. Значения интенсивностей : $a)1^{-+}$-, b)2^{++} волн и с) их относительной фазы.

4 Заключение

Перечислим основные результаты московской группы E852 коллаборации в 1996 году:

1. Получено серьезное указание на существование экзотического состояния 1^{-+} в канале $\pi^-\pi^+\pi^-$ при массе 1.6 ГэВ.

2. Подтверждены результаты эксперимента КЕК о существовании экзотического состояния 1^{-+} в канале $\pi^-\eta$ при массе 1.3 ГэВ.

Всего в 1996 г. опубликовано 7 работ, принято к печати 2 работы, на международных конференциях сделано 24 доклада.

Организован локальный вычислительный комплекс в ЛАВ НИИЯФ МГУ для обработки данных эксперимента E852.в Москве.

В 1997 г. будет проводиться новый сеанс измерений в период 1.03.97 по 31.05.97. на установке E852, дополненой черенковским детектором. Т.о. появися возможность анализировать экзотические состояния , содержащих s- кварк.

Будет продолжен физический анализ событий, зарегестрированных в 1995 г.г. Это увеличит статистику в 3-4 раза.

Планируется, что физики НИИЯФ МГУ примут участие в эксперименте E852 в следующих работах:

1. Подготовка установки E852 к сеансу измерений. На специалистах МГУ лежит полная ответственность за работу LGD- детектора и участие в работах с черенковским счетчиком.

2. Участие в эксплуатации установки во время сеансов измерений.

3. Работа по созданию ленты суммарных результатов по данным измерений в 1995 г.

4. Физический анализ данных с использованием ПВА.

5. Подготовка публикаций.

6. Работа по поддержанию в рабочем состоянии и расширению вычислительного комплекса ЛАВ НИИЯФ МГУ.

Для успешного продолжения работ по E852 в 1997 г. необходимо валютное финансирование для оплаты командировочных расходов сотрудников МГУ, посылаемых в БНЛ (США), в объеме 24 чел/мес $*\$2400 = \$57600$.

Для расширения локального вычислительного комплекса ЛАВ в Москве необходимо около $ 30000 или 163000000 руб.. Для участия в Международной конференции Адрон-97, которая состоится в августе 1997 г. в БНЛ (США) потребуются расходы на авиабилеты $ 1300 х 2 = $2600.

Список литературы

1. "A study of two prototype lead glass electromagnetic calorimeters", B.B.Brabson et al., Nucl. Instr. and Meth. A332, 419-443 (1993).
2. "A scintillation detector of unique geometry", Z.Bar-Yam et al., Nucl. Instr. and Meth. A357, 95-102 (1995).
3. "The Brookhaven National Laboratory E852 Lead Glass Calorimeter System", S.Teige et al., Proceedings of the V-th International Conference on Calorimetry in High Energy Physics, eds. Howard A.Gordon and Dors Rueger, 161-166 (1995).
4. "Design and performance of a cesium iodide detector", T.Adams et al., Nucl. Instr. and Meth. A368, 617-627 (1996).
5. "Search for Exotic Mesons in pi-p Interactions at 18 GeV/c", J.M.LoSecco et al., Progress in Particle and Nuclear Physics 36, Proceedings of the International School of Nuclear Physics, ed. Amand Faessler, 437-445 (Pergamon, 1996).
6. "Поиск мезонов с необычными квантовыми числами ("Глюбол") в 1994/1995 гг.", В.А.Бодягин и др., Препринт НИИЯФ МГУ - 95-42/406, (1995).
7. "Study of the eta pi, eta eta and etaprime pi systems in pi-p interactions at 18 GeV/c", N.M.Cason et al., Proceedings of the VI-th International Conference on Hadron Spectroscopy, Manchester, England, eds. M.C.Birse, G.D.Lafferty and J.A.McGovern, World Scientific, Singapore, 55-61 (1996).
8. "Study of pi+pi-pi- interactions at 18 GeV/c", D.P.Weygand et al., Proceedings of the VI-th International Conference on Hadron Spectroscopy, Manchester, England, eds. M.C.Birse, G.D.Lafferty and J.A.McGovern, World Scientific, Singapore, 241-247 (1996).
9. "Resonance production in the reaction pi-p –¿ n pi- pi+ pi0 pi0" G.S.Adams et al., Proceedings of the VI-th International Conference on Hadron Spectroscopy, Manchester, England, eds. M.C.Birse, G.D.Lafferty and J.A.McGovern, World Scientific, Singapore, 491-493 (1996).
10. "Study of the pi0pi0 system in pi-p interactions at 18 Gev/c", B.B.Brabson et al., Proceedings of the VI-th International Conference on Hadron Spectroscopy, Manchester, England, eds. M.C.Birse, G.D.Lafferty and J.A.McGovern, World Scientific, Singapore, 494-496 (1996).
11. "Observation of f1(1285) pi and etaprime(958) pi in the reaction pi-p –¿ n eta pi+ pi- pi- at 18 GeV/c", Proceedings of the VI-th International Conference on Hadron Spectroscopy, Manchester, England, eds. M.C.Birse, G.D.Lafferty and J.A.McGovern, World Scientific, Singapore, 497-499 (1996).