

П И С Ь М А

В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ
ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 59, ВЫПУСК 2
25 ЯНВАРЯ, 1994

Письма в ЖЭТФ, том 59, вып.2, стр.75 - 78

©1994 г. 25 января

ПОИСКИ УЗКОГО РЕЗОНАНСА В $pp\pi^-$ -СИСТЕМЕ

*Л.С.Воробьев, Ю.Г.Гришук, Ю.В.Ефременко, М.В.Косов, С.В.Кулешов,
Г.А.Лексин, Н.А.Ливнюк, А.В.Смирнитский, В.Б.Федоров,
Б.Б.Шварцман, С.М.Шувалов, М.Г.Щепкин*

*Институт теоретической и экспериментальной физики
117259 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 22 декабря 1993 г.

Результаты предварительного анализа спектра масс $pp\pi^-$ -системы, образованной в реакции $pp \rightarrow pp\pi^- \pi^+$, указывают на существование резонанса с $M \approx 2,06$ ГэВ и шириной < 15 МэВ. Впервые методом инвариантных масс исследовалась $pp\pi^-$ -система, способная иметь любые квантовые числа, включая те, которые запрещены в $p\pi$ -системе. Наблюдаемая особенность в $pp\pi^-$ -спектре масс согласуется с кварковыми моделями и подтверждает гипотезу, предложенную для объяснения данных по двойной перезарядке пионов низкой энергии на ядрах.

Очевиден интерес к экзотическим состояниям, в том числе к узким низколежащим дибарионам, которые можно рассматривать как шестикварковые системы. Большинство экспериментов по поискам дибарионов, которые были выполнены до настоящего времени, относились к резонансам, связанным с NN - или $N\Delta$ -каналами [1]. Эти эксперименты не привели к положительному и однозначному результату, что неудивительно, поскольку нет надежных теоретических аргументов в пользу малой ширины дибарионных структур, способных распасться на два бесцветных трехкварковых объекта. Можно было бы ожидать малую ширину дибарионного резонанса с $M \leq m_p + m_\Delta$ и $T = 2$. Однако из кварковых моделей следует (см., например, [2]), что массы дибарионных состояний с $T = 2$ лежат заведомо выше суммарной массы N и Δ . Поиск таких состояний в реакциях $\pi^- d \rightarrow \pi^+ X^-$ [3] и $pp \rightarrow \pi^- X^{+++}$ [4] также дал отрицательный результат.

В работах [2,5] было указано на возможность существования низколежащих (с массой, всего на 50–100 МэВ превышающей суммарную массу $NN\pi$) и узких резонансов с $T = 0$ и квантовыми числами $J^P = 0^-, 2^-$. Такие резонансы

не могут распадаться на два нуклона за счет сильных взаимодействий и распадаются на два нуклона и пион.

В этой статье излагаются предварительные результаты опыта по поиску резонансных структур в спектре масс $pp\pi^-$ -системы, инициированного предсказаниями кварковых моделей [2,5]. Изучалась простейшая для данного случая реакция $pp \rightarrow pp\pi^-\pi^+$. Отметим, что ни один из специально поставленных до сих пор экспериментов (см., например, [1]) не способен ни подтвердить, ни опровергнуть существование резонансов в системе $pp\pi^-$, не связанных с NN -каналом.

Опыт проводился на ускорителе ИТЭФ. Энергия протонов в кольце синхротрона была выбрана равной $T_p = 920$ МэВ ($\sqrt{s} = 2,29$ ГэВ). Протоны, упруго рассеянные под углом 3° на внутренней бериллиевой мишени ускорителя, формировались магнитным трактом в пучок с $\Delta p/p \leq 5 \cdot 10^{-3}$ и интенсивностью $\sim 0,5 \cdot 10^6$ частиц/цикл. Протоны пучка регистрировались сцинтилляционными счетчиками, которые измеряли время пролета и определяли рабочую область на мишени. Измерения проводились на двух мишенях: CH_2 ($2,78$ г/см²) и ^{12}C ($3,52$ г/см²); приводимые ниже данные представляют собой результаты разностного эксперимента.

Непосредственно за мишенью находился сцинтилляционный счетчик, который позволял измерять суммарную амплитуду сигналов от пролетевших через него частиц и дискриминировать события с двумя и менее релятивистскими частицами после мишени.

Вторичные частицы регистрировались 36 толстыми сцинтилляционными счетчиками ($\approx 200 \times 200 \times 200$ мм), которые перекрывали телесный угол $4^\circ < \theta < 24^\circ$, $0^\circ < \phi < 360^\circ$. Измерения энергий вторичных частиц и их идентификация осуществлялись по времени пролета и энерговыведению. Критерием положительного заряда пиона был дополнительно регистрируемый сигнал от $\mu^+ \rightarrow e^+$ распада остановившегося в счетчике пиона. Подробности методики описаны в [6].

Регистрировались события, когда срабатывали не менее трех из 36 счетчиков. Условия эксперимента позволяли измерять инвариантные массы системы $pp\pi$ вплоть до $M_{pp\pi} = 2,12$ ГэВ. Через установку было пропущено $\sim 10^{11}$ протонов и было записано на магнитную ленту $\sim 10^7$ событий. Выбирались события с двумя протонами и пионом определенного заряда. Для дальнейшего анализа оставлялись события, в которых квадрат недостающей массы к системе $pp\pi$ соответствовал квадрату массы пиона; полная ширина на полувысоте в соответствующем распределении составляла $0,02$ ГэВ². Дополнительно требовалось соответствие амплитуды в счетчике, расположенном за мишенью, энерговыведению частиц, зарегистрированных в данном событии. Число отобранных для окончательного анализа событий составляет ~ 7000 для мишени CH_2 , и ~ 1000 для мишени ^{12}C .

На рис.1 представлено распределение событий по инвариантной массе $pp\pi^-$. Кривая – результат расчета методом Монте-Карло с учетом только фазового объема и ограничений, накладываемых условиями эксперимента. Кривая нормирована на полное число событий. В распределении не видно статистически значимых отклонений от расчетной кривой.

Если спин-четность $pp\pi^-$ -системы $J^P = 0^-$, два протона находятся в относительной S -волне. А в таком случае следует ожидать сильных эффектов от взаимодействия в конечном состоянии: значительного увеличения числа событий

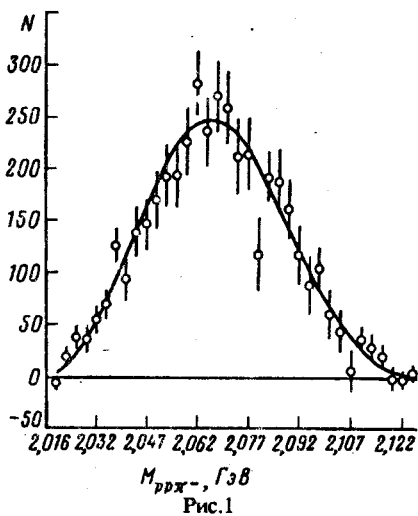


Рис.1

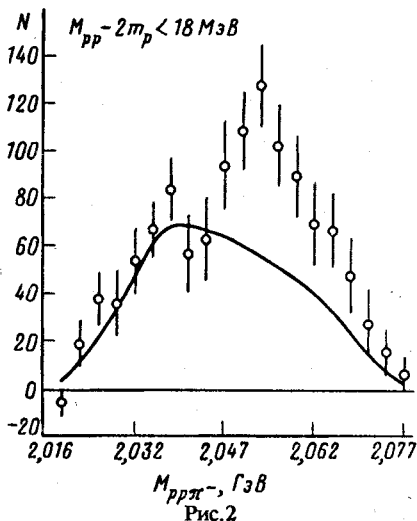


Рис.2

Рис.1 Распределение событий реакции $pp \rightarrow pp\pi^-\pi^+$ по инвариантной массе $pp\pi^-$

Рис.2 То же, что на рис.1, но с ограничением $M_{pp} < 2m_p + 18$ МэВ

с малой инвариантной массой pp (эффект Мигдала-Ватсона). Распределение dG/dM_{pp} в $pp\pi^-$ -распаде 0^- -резонанса было рассчитано в работе [7]. Аналогичные эффекты должны быть и в нерезонансном фоне, но в области малых M_{pp} вклад 0^- -резонанса (если он существует) должен быть усилен. В распределении событий реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ по инвариантной массе pp имеется избыток над кривой фазового объема в области $M_{pp} < 2m_p + \Delta m$, $\Delta m = 15 \div 20$ МэВ. Из сказанного следует, что естественно искать $pp\pi^-$ -резонанс среди событий, для которых вклад S -волны между протонами относительно велик, то есть при малых инвариантных массах pp -системы.

На рис.2 показано распределение по $M_{pp\pi^-}$ при дополнительном обрезании $M_{pp} < 2m_p + \Delta m$, $\Delta m = 18$ МэВ. Отметим, что изменение Δm в пределах $10 < \Delta m < 20$ МэВ не меняет характер результата. В принципе, как следует из работы [7], было бы целесообразно еще сильнее ограничить M_{pp} и выбрать ту область, где эффект Мигдала-Ватсона проявляется наиболее ярко (скажем, $\Delta m \sim 3 \div 5$ МэВ). Однако для данного конкретного эксперимента это означало бы потерю значительной части событий и, соответственно, увеличение ошибок. Сплошной кривой на рис.2 показано поведение фазового объема, ограниченного тем же условием на M_{pp} , с учетом эффективности установки. Нормировка кривой фазового объема не является произвольной и сделана по данным, приведенным на рис.1. Иными словами, для сравнения с экспериментальными данными расчетные кривые на рис.1 и 2 умножались на одно и то же число, полученное при нормировании на полное число событий, приведенных на рис.1.

На рис.2 виден максимум при $M_{pp\pi^-} \approx 2,06$ ГэВ шириной ~ 15 МэВ. Разрешение установки в этой области инвариантных масс составляет ~ 10 МэВ. Оценка сечения образования особенности масштаба 1 мкб, что составляет $\sim 2\%$ от полного сечения реакции [8]. Аналогичные структуры в спектре $pp\pi^-$

системы отсутствуют, что согласуется с отрицательными результатами поиска дибарионов с $T = 2$.

Наблюдаемую в этой работе особенность в спектре инвариантных масс $\rho\rho\pi^-$ -системы следует сопоставить с s -канальной особенностью, наблюдаемой в двойной перезарядке пионов на ядрах при энергии $T_\pi \approx 50$ МэВ. Пики в сечении на угол 0° шириной $\sim 20 \div 30$ МэВ наблюдались в разных экспериментах ([9-11] и ссылки в [12]) и отчетливо проявляются на ядрах от ^{12}C до ^{56}Fe . В работах [12-15] данное явление объяснялось наличием обсуждаемого резонанса при дополнительном предположении о его существовании в ядре, где он образуется на кластере из двух нуклонов. Параметры 0^- -резонанса в ядре: $M = 2065$ МэВ, $\Gamma = 5 \div 10$ МэВ и $\Gamma_{N\pi} \approx 0,5$ МэВ [12]. В рамках этих же предположений можно объяснить высоковозбужденное состояние ядра с $E \approx m_\pi + 50$ МэВ и $\Gamma < 40$ МэВ, которое наблюдалось в реакции $A(\pi, \pi\pi)A^*$ при отборе событий, происходящих на кластерах в ядре [16].

В данном эксперименте получено независимое и свободное от дополнительных предположений указание на существование низколежащего и узкого дибарионного резонанса с $T = 0$ и, вероятно, $J^P = 0^-$.

Авторы благодарны Г.Вагнеру, Х.Клементу, Л.Кондратюку и Б.Мартемьяно-ву за полезное обсуждение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (93-02-3904).

1. E.N.Komarov, Preprint 1853, Petersburg Nucl. Phys. Inst., 1993.
2. P.J.Mulders, A.T.Aerts, and J.J. de Swart, Phys. Rev. D **21**, 2653 (1980).
3. B.Parker, K.K.Seth, C.M.Ginsburg et al., Phys. Rev. Lett. **63**, 1570 (1989).
4. M.P.Combes-Comets, P.Courtat, R.Frascaria et al., Phys. Rev. C **43**, 973 (1991).
5. Л.Кондратюк, Б.Мартемьянов, М.Шепкин, ЯФ **45**, 1252 (1987).
6. Ю.Д.Баюков, А.Е.Буклей, В.Б.Гаврилов и др., ПТЭ No.3, 25 (1982).
7. M.Schepkin, O.Zaboronsky, and H.Clement, Z. Phys. A **345**, 407 (1993).
8. Л.Г.Дахно, А.В.Кравцов, Е.А.Лобачев и др., ЯФ **37**, 907 (1983).
9. M.J.Leitch, H.W.Baer, R.L.Burman et al., Phys. Rev. C **39**, 2356 (1989); Phys. Lett. B **294**, 157 1992.
10. H.Clement, Progr. Part. Nucl. Phys. **29**, 175 (1992).
11. R.Bilger, V.M.Barnett, H.Clement et al., Phys. Lett. B **269**, 247 (1991).
12. R.Bilger, H.Clement, and M.Schepkin, Phys. Rev. Lett. **47**, 42 (1993).
13. R.Bilger, H.Clement, K.Föhl et al., Z. Phys. A **343**, 491 (1992).
14. H.Clement, R.Bilger, K.Föhl et al., Nucl. Phys. A **553**, 589 (1993).
15. G.J.Wagner, R.Bilger, H.Clement et al., 8th Amsterdam Miniconference on "Correlations in Hadronic Systems". December 1993.
16. Ю.Д.Баюков, Л.С.Воробьев, В.Б.Гаврилов и др., ЯФ **55**, 3261 1992.