

НАБЛЮДЕНИЕ УЗКИХ ДИПРОТОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
С МАССАМИ 1966 и 1989 МэВ/с²

О.Б.Абдинов¹, А.А.Байрамов¹, Ю.А.Будагов, А.М.Дворник,²
Ю.Ф.Ломакин, А.А.Маилов¹, В.Б.Флягин, Ю.Н.Харжеев

В спектрах эффективных масс двух протонов наблюдаются узкие /меньше 10 МэВ/с²/ структуры /на уровне 4-5 стандартных отклонений/, которые могут рассматриваться как дипротонные резонансы. Данные получены при обработке filmовой информации с метровой пузырьковой камеры ЛЯП ОИЯИ с пропановым и пропан-фреоновым заполнением, облученной π^- -мезонами с импульсом 5 ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Приведены данные по сечениям рождения резонансов на ядрах и угловые распределения протонов в с.ц.и. резонансов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Observation of Narrow Diproton Resonances
with 1966 and 1989 MeV/c² Masses

O.B.Abdinov et al.

Narrow (less than 10 MeV/c²) structures (4-5 standard deviations) have been observed in two proton effective mass spectra. These could be considered as diproton resonances. The data have been obtained by processing film information from one-meter bubble chamber of LNP, JINR, with propane and propane-freon filling which has been irradiated by 5 GeV/c π^- -mesons on the JINR synchrophasotron. The data on the cross sections of resonance production on nuclei and proton angular distributions in s.c.i. of resonances are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

¹ Институт физики АН АзССР, Баку

² Гомельский государственный университет

В последние несколько лет появились работы^{/1-11/}, выполненные камерной методикой, в которых сообщалось о наблюдении в спектрах эффективных масс двух протонов узких $\langle \Gamma \rangle < 10 \text{ МэВ/с}^2$ особенностей. Эти особенности проявляются при массах $\langle M_{2P} \rangle = 1926, 1936, 1965, 2020 \text{ МэВ/с}^2$, меньших масс дибарионов, предсказываемых различными моделями кварковых мешков^{/12/}. Вследствие малой ширины подобные структуры не могли быть наблюдаемы при измерениях упругих или полных сечений протон-протонного рассеяния. Ранее из анализа импульсных спектров протонов "назад" в различных интервалах углов вылета протонов нами было установлено^{/13/}, что характер отклонений экспериментальных величин инвариантных функций для протонов от соответствующих гладких зависимостей, полученных путем обобщения предсказаний фэйрбольной модели Горенштейна - Зиновьева, напоминает осциллирующее поведение сечений в зависимости от энергии и угла вылета вторичных частиц в адрон-ядерных столкновениях при низких энергиях, т.н. "эриксонские" флуктуации. Используя это сходство с эриксонскими флуктуациями, можно было оценить средние значения резонансных ширин уровней возбуждения нуклонных систем, ответственных за флуктуирующую часть амплитуды реакции, $\langle \Gamma \rangle = 10 \text{ МэВ/с}^2$, что существенно меньше значений, получаемых из фазового анализа экспериментальных данных. Таким образом, косвенно было обнаружено существование целого спектра узких возбужденных состояний, предсказываемых теоретически в ряде работ^{/14/}. Узкие состояния рассматривались феноменологически в рамках так называемых ротационных моделей^{/15/}. Для выяснения их природы и установления феноменологической систематики необходимы новые экспериментальные данные.

В настоящей работе исследуются спектры эффективных масс пар протонов, образованных в неупругих взаимодействиях отрицательных пионов с импульсом 5 ГэВ/с с ядрами углерода и со средним ядром $A=15 (29 \pm 3\% \text{ фреона } 13\text{В1 по весу})$ в метровой пузырьковой камере ЛЯП ОИЯИ с пропановым и пропан-фреоновым наполнением (≈ 15000 и 7500 событий соответственно). Для анализа отбирались протоны с импульсами $0,15 < P_p < 0,75 \text{ ГэВ/с}$, точность определения которых составляла: а) $\Delta P/P < 3\%$ при измерениях импульсов протонов по пробегу в пропане и $< 5\%$ - в пропан-фреоновой смеси; б) $\Delta P/P < 10-15\%$ при измерении импульсов протонов по кривизне их траектории в магнитном поле с $H_z = 1,7 \text{ Тл}$. Разрешение по эффективной массе двух протонов в области масс $1960 < M_{2P} < 2000 \text{ МэВ/с}^2$ оказалось равным $\Delta M_{2P} = 5-7 \text{ МэВ/с}^2$.

На рис. 1 и 2 приведены распределения по эффективным массам пар протонов при различных ограничениях на нижнюю границу P_n импульсов протонов, что позволяет уменьшить

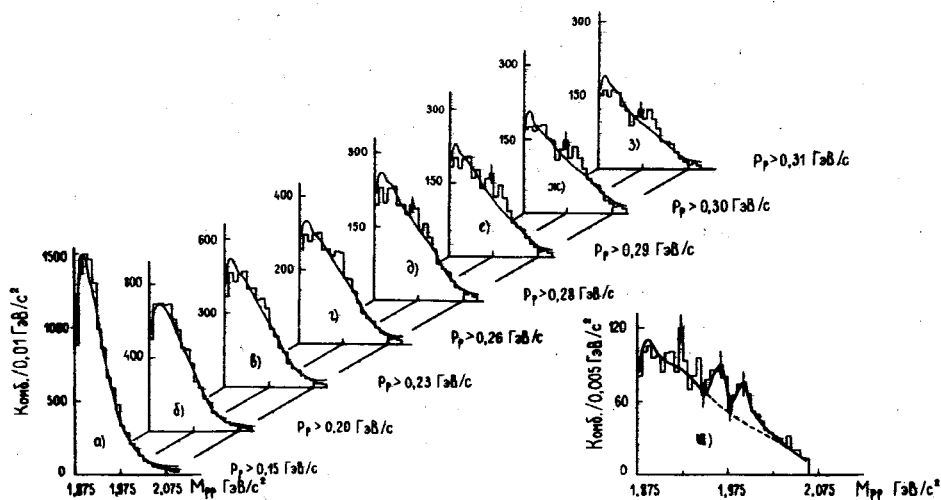


Рис. 1. Распределения по эффективным массам двух протонов в π^-C^{12} -взаимодействиях при 5 ГэВ/с. Гистограммы – экспериментальные распределения. Сплошные линии, нанесенные на гистограммы а ÷ з, – фоновые распределения, полученные "перемешиванием" протонов из разных событий. Сплошная линия на гистограмме и – результат аппроксимации экспериментального распределения функцией вида /1/. Гистограмма и /шаг 5 МэВ/с²/ соответствует гистограмме д /шаг 10 МэВ/с²/.

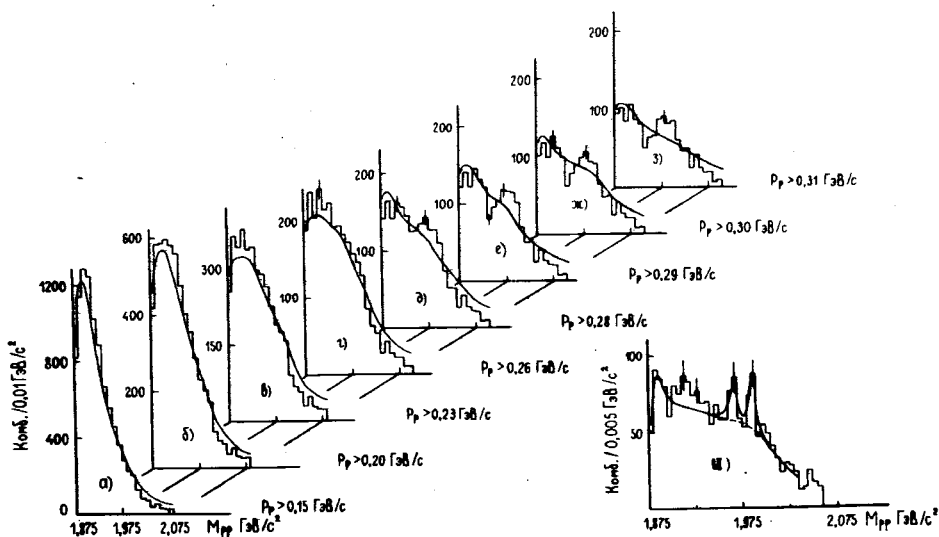


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для взаимодействий π^- -мезонов со средним ядром / $A \approx 15$ / при 5 ГэВ/с.

вклад в гистограммы так называемых "испарительных" протонов, для $\pi^-^{12}\text{C}$ - и $\pi^-(\bar{A}=15)$ -взаимодействий соответственно. Для сравнения на этих же рисунках нанесены фоновые распределения /сплошные линии/, полученные методом перемешивания протонов из разных событий при тех же ограничениях на импульсы протонов, как и в экспериментальных данных, с нормировкой на полную площадь. Как видно на рис.1,2, в спектрах эффективных масс двух протонов при ограничениях на величину импульса протонов $P_p > 0,28$ ГэВ/с в области масс $1950 < M_{pp} < 2000$ МэВ/с² наблюдаются узкие структуры, причем для $\pi^-(\bar{A}=15)$ -взаимодействий эти особенности более значимы, чем для $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий /см. рис.1и и 2и/.

Поскольку неопределенности в измерении эффективных масс двух протонов для $\pi^-^{12}\text{C}$ - и $\pi^-(\bar{A}=15)$ -взаимодействий одинаковы с точностью до 1-2 МэВ/с² и формы спектров подобны, то можно объединить данные двух экспериментов. На рис.3 приведены распределения, основанные на объединенной статистике. Здесь гистограммой обозначено экспериментальное распределение, сплошной линией - фоновое, полученное "перемешиванием" и представляющее собой сумму фоновых распределений для $\pi^-^{12}\text{C}$ - и $\pi^-(\bar{A}=15)$ -взаимодействий. На рис.1и, 2и и 3и /шаг гистограммы 5 МэВ/с²/ нанесены результаты

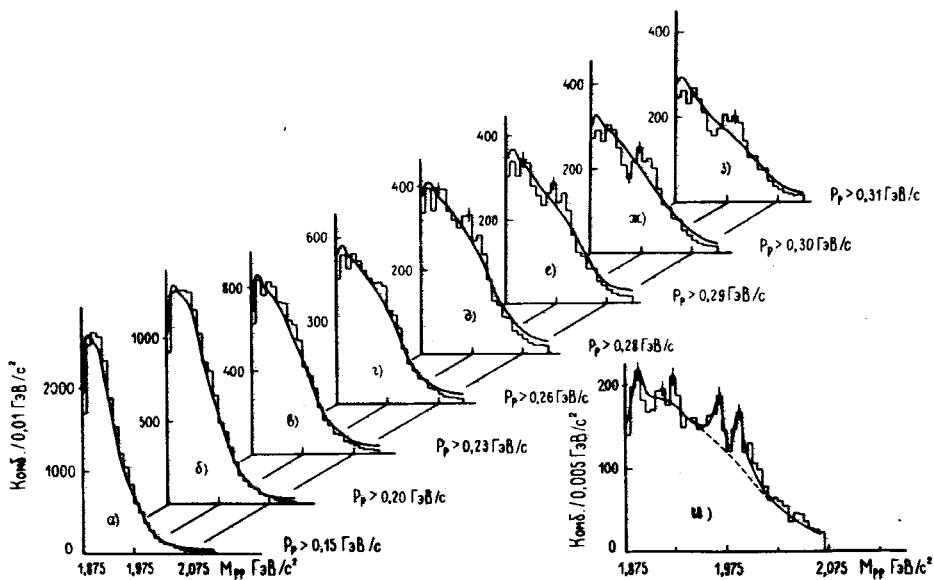


Рис.3. Суммарные распределения по эффективным массам двух протонов для $\pi^-^{12}\text{C}$ - и $\pi^-(\bar{A}=15)$ -взаимодействий при 5 ГэВ/с.

аппроксимации экспериментальных распределений по M_{2P} функцией вида /сплошная линия/:

$$F(M_{2P}) \approx \alpha \Phi(M_{2P}) + \sum_i \beta_i BW_i(M_{2P}), \quad /1/$$

где $\Phi(M_{2P})$ - фоновое распределение /"перемешивание"/, $BW_i(M_{2P})$ - функции Брейта-Вигнера, α и β - коэффициенты. Значения параметров, полученных из аппроксимации спектра эффективных масс двух протонов /рис.3и/, вместе с данными о доверительном уровне рассматриваемых гипотез и их статистической значимости приведены в табл.1. Статистическая значимость /ст. зн./ наблюдаемых особенностей при массах 1966 и 1989 МэВ/с², определяемая отношением $N_{эфф} / \sqrt{N_{эфф} + N_{фон}}$ оказывается довольно высокой.

Таблица 1

Гипотеза	$M_{2P}, \text{МэВ/с}^2$	$\Gamma_{2P}, \text{МэВ/с}^2$	$\chi^2 / \text{ст.св.}$	Довер. уровень	Ст.зн.
1. Фон	-	-	94/97	10^{-5}	-
2. Фон+ 2BW	1966±1	7	38/23	2,7	4
	1989±1	9			5
3. Фон+ 3BW	1918±1	3	38/21	1,4	1
	1966±1	7			4
	1989±1	9			5

Из табл.1 видно, что вероятность описания экспериментального распределения с помощью только гипотезы 1 крайне низка. Гипотезы 2 и 3 примерно равновероятны, но статистическая достоверность выброса при массе 1918 МэВ/с² мала /одно стандартное отклонение/, поэтому в дальнейшем будем пользоваться данными обработки по гипотезе 2. Раздельная обработка экспериментальных спектров в $\pi^-^{12}\text{C}$ - и $\pi^- (\bar{A}=15)$ - группах позволила определить сечения образования дибарионных резонансов с массами 1966 и 1989 МэВ/с² на ядрах ^{12}C и $\bar{A}=15$ в пион-ядерных взаимодействиях при 5 ГэВ/с /рис.1и и 2и/. Результаты анализа приведены в табл.2.

Важным критерием для выбора той или иной теоретической модели для адрон-ядерных взаимодействий может служить А-зависимость выхода частиц и резонансов. Существующие экспериментальные данные по выходу дейтронов и ядер ^{18,19/}

Таблица 2

Ядро	$\sigma_{1966}, \text{мб}$	$\sigma_{1989}, \text{мб}$
^{12}C	$0,69 \pm 0,12$	$0,70 \pm 0,12$
$\bar{A}=15$	$0,72 \pm 0,15$	$1,00 \pm 0,18$

в пион-ядерных взаимодействиях удовлетворяют степенной зависимости $\sigma \sim A^\alpha$ с параметром $\alpha = 4/3$. Данные табл.2 по выходу дипротонов из ядер не противоречат в пределах экспериментальных погрешностей данным по выходу дейтронов /для резонанса с массой 1989 МэВ/с² $\alpha = 1,30^{+0,65}_{-0,70}$ /, однако досто-

верность настоящих данных невысока / $\approx 20\%$ погрешности в величинах сечений выходов дипротонов и близкие значения атомных масс ядер/.

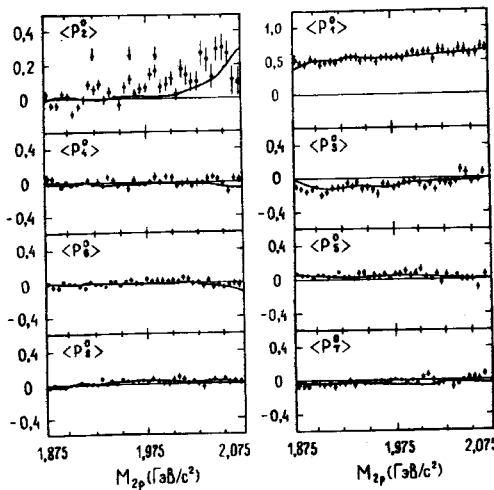


Рис.4. Распределения нормированных моментов как функций масс M_{2p} . Сплошные линии - фоновые распределения /"перемешивание"/.

На рис.4 представлены нормированные средние моменты распадных угловых распределений в системе двух протонов как функций масс M_{2p}^{18} . Полярный угол θ вылета одного из протонов определялся как угол между направлением пучковой частицы (\vec{z}) и направлением вылета продукта распада /протона/. Точки - экспериментальные данные по средним моментам $\langle P_\ell \rangle = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} P_\ell(\cos \theta_j)}{N_i}$ /здесь $P_\ell(\cos \theta_j)$ - полином Лежандра порядка ℓ , N_i - количество событий в i -м интервале масс/, кривые - фоновые распределения, полученные "перемешиванием" протонов из разных событий. Из рис.4 видно, что четный момент $\langle P_2 \rangle$ проявляет резонансно-подобную структуру при массах 1966 и 1989 МэВ/с², а следующие четные моменты $\langle P_4 \rangle \div \langle P_6 \rangle$ сопоставимы с нулем во всей рас-

смаатриваемой области масс, т.е. в системе двух протонов присутствуют волны с орбитальным моментом $l=1$. Полный момент $\vec{J} = \vec{l} + \vec{s}$ может принимать значения 0, 1, 2, поэтому два протона при указанных выше массах будут находиться в состояниях 3P_0 , 3P_1 или 3P_2 /обозначение ${}^{2S+1}L_J$ /. Если нанести полученные нами данные на график зависимости масс нестранных дибарионных резонансов, предсказываемых ротационной моделью ^{17,17}, от величины $J(J+1)$ ($M = M_0 + M_1 \cdot J(J+1)$), то найдем, что резонансы при 1966 и 1989 МэВ/с² в 3P_2 -состоянии достаточно хорошо ложатся на прямые линии с приблизительно одинаковым параметром $M_1 \approx 14,5$ МэВ/с² /рис.5/. Рассматриваемый рисунок взят из работы ¹⁷.

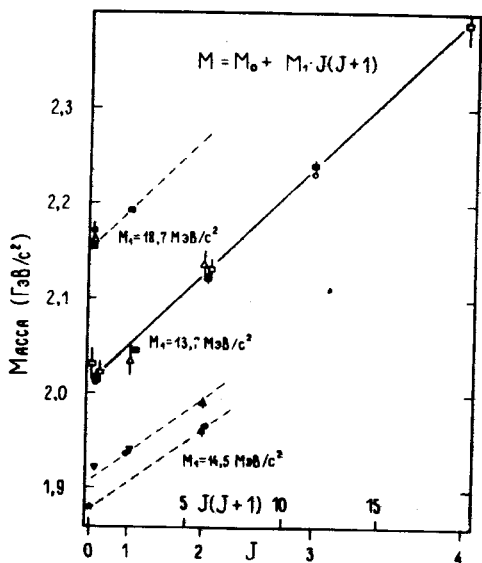


Рис.5. Зависимость масс нестранных дибарионных резонансов от величины $J(J+1)$. Линии - результаты аппроксимации экспериментальных данных ротационно-подобной массовой формулой $M = M_0 + M_1 \cdot J(J+1)$: \blacksquare - /7/, \bullet - /1/, Δ - /4/, \circ - /8/, \circ - /9/, \blacktriangle - /2/ и настоящая работа, \square - /10/, \square - /11/, \blacktriangledown - /5/.

Таким образом, в спектрах эффективных масс двух протонов в реакции $\pi^- A \rightarrow pp + X$ при 5 ГэВ/с обнаруже-

ны узкие структуры при массах 1966 и 1989 МэВ/с². Указанные состояния могут быть резонансами в системе двух протонов в P-волне с полным спином, равным 2.

Литература

1. Бешлиу К. и др. ОИЯИ, Д1-83-815, Дубна, 1983; ОИЯИ, Д1-85-433, Дубна, 1985; в сб: Краткие сообщения ОИЯИ, № 13-85, Дубна, 1986, с.12.
2. Байрамов А.А. и др. ОИЯИ, Р1-83-207, Дубна, 1983.
3. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, 1-84-103, Дубна, 1984.
4. Glagolev V.V. et. al. JINR, E1-83-59, Dubna, 1983.
5. Азимов С.А. Препринт ФТИ АН УзССР, 27-84-ФВЗ, Ташкент, 1984.
6. Ермаков К.Н. и др. Препринт ЛИЯФ, № 1089, Ленинград, 1985.

7. Tatischeff B. et al. Preprint IPNO-DRE 85-14, Orsay, 1985; IPNO-DRE 85-19, Orsay, 1985.
8. Bock B. et al. Contribution to the 11th Europhysics Conference Nuclear Physics with Electromagnetic Probes, Paris, 1985.
9. Argan P.E. et al. Phys.Rev.Lett., 1981, 46, p.96.
10. Siemiarczuk T. and Zielinski Z. Phys.Let., 1984, 137B, p.434.
11. Saudinos J. et al. Proc.Meeting on Nuclear Physics in the GeV Region. KEK National Laboratory, Japan, 1984.
12. Aerts A.T. et al. Phys.Rev., 1980, D17, p.260.
13. Байрамов А.А. и др. ОИЯИ, P1-81-589, Дубна, 1981.
14. Матвеев В.А. ОИЯИ, Д1,2-12036, Дубна, 1978, с 137.
15. Nichitiu F. JINR, E2-85-808, Дубна, 1985.
16. Абдинов О.Б. и др. ОИЯИ, P1-86-11, Дубна, 1986.
17. Mac Gregor M. Phys.Rev., 1979, D20, p. 1616.
18. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т. 10, вып. 5, с. 949.
19. Ефремов А.В. ЭЧАЯ, 1982, т. 13, вып. 3, с. 613.