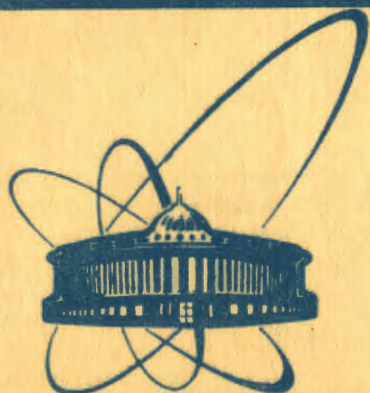


27/II-84



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1176/84

Д1-83-815

К.Бешлиу, А.П.Иерусалимов, Ф.Которобай,
В.И.Мороз, А.В.Никитин, Д.Пантеа,
В.Н.Печенов, А.П.Стельмах, Ю.А.Троян

МНОГОКВАРКОВЫЕ РЕЗОНАНСЫ
В pp -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ (1:5) ГэВ

1983

В представленной работе исследуются резонансы в различных системах с барионными числами 2,1,0. Как будет показано, эти резонансы характеризуются малыми ширинами. Их образование происходит, по-видимому, посредством механизма барионного обмена. Все изучаемые резонансы имеют экзотический набор квантовых чисел и могут рассматриваться как системы, состоящие из более чем трех кварков.

Материал получен на 1-метровой водородной камере Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, облученной на синхрофазотроне монохроматическими нейтронами разных энергий. Во всех случаях разброс импульсов первичных нейтронов не превышал $\pm 3\%$ ^{1/}.

1. ДВУХБАРИОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ

Исследованию резонансов в системе двух нуклонов посвящен ряд работ. Одни выполнены с использованием электронной методики, при этом изучались энергетические зависимости сечений рассеяния поляризованных протонов, реакции фотодезинтеграции дейтрона, энергетический ход реакции $n^+d \rightarrow pp$ и т.д. В вытекающем из этих экспериментов выводе, полученном на основе фазового анализа, содержится указание на существование четырех резонансов в системе двух протонов с массами в районе $2,14 \pm 2,50$ ГэВ/с² и с ширинами от 50 до 200 МэВ/с². Обстоятельный обзор экспериментов этого типа дан в работе М.Н.Макарова^{2/}.

Другая группа исследований относится к прямому наблюдению эффективных масс двух протонов, возникающих во взаимодействии адронов с ядрами. Эти работы выполнены на основе камерной методики с использованием камер с различными наполнениями и различных пучков адронов. В распределениях эффективных масс двух протонов видны особенности, ширины которых заключены в пределах от 5 до 50 МэВ/с². Для объяснения эффектов привлекаются разные механизмы, так как во взаимодействиях с ядрами трудно дать однозначную интерпретацию получаемых данных. Для ознакомления с ситуацией можно обратиться к^{3,4/}, в которых имеются подробные ссылки на выполненные в такой постановке эксперименты.

В данной работе мы представляем первые результаты исследования эффективных масс двух протонов из реакции $pp \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 1,25$ ГэВ/с /1448 событий/, $P_n = 2,23$ ГэВ/с /2678 событий/ и $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с /3684 события/.

На рис.1а представлено распределение эффективных масс двух протонов из реакции $pp \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 1,25$ ГэВ/с, построенное

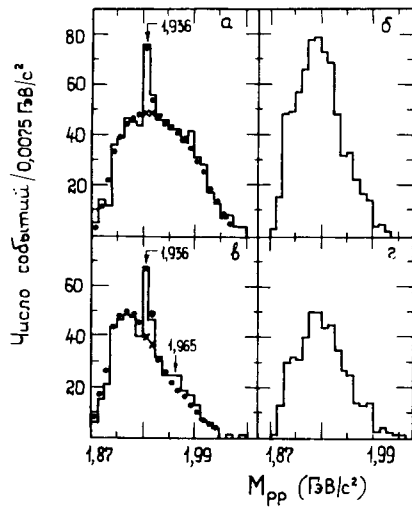


Рис.1. Распределение эффективных масс двух протонов из реакции $pr \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 1,25$ ГэВ/с: а/ $\Delta^2_{n \rightarrow \pi^-} < -0,45$ (ГэВ/с²)²; б/ $\Delta^2_{n \rightarrow \pi^-} > -0,45$ (ГэВ/с²)²; в/ $x_{\pi^-}^* = p_{\pi^-}^*/p_n^* > 0,1$; г/ $x_{\pi^-}^* < 0,1$. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

с условием, чтобы четырехмерная передача от нейтрона к π^- -мезону $\Delta^2 = -(E_n^* - E_{\pi^-}^*)^2 + (\vec{p}_n^* - \vec{p}_{\pi^-}^*)^2$ была меньше $-0,45$ (ГэВ/с²)². Все величины вычислены в с.ц.м. реакции. На рис.1б это же распределение построено для $\Delta^2 > -0,45$ (ГэВ/с²)². Если на рис.1а виден резкий пик

при массе 1936 МэВ/с², то на рис.1б не видно никаких особенностей. На рис.1в распределение $M_{pp}^{эфф.}$ построено для случаев, в которых величина $x_{\pi^-}^* = p_{\pi^-}^*/p_n^*$ больше 0,1. Рис.1г показывает те же распределения для $x_{\pi^-}^* < 0,1$. Пик при массе 1936 МэВ/с² наблюдается только на рис.1в. Анализ двумерного распределения Δ^2 относительно $x_{\pi^-}^*$ показывает соответствие выбранных границ для Δ^2 и $x_{\pi^-}^*/|\Delta^2| < -0,45$ соответствует $x_{\pi^-}^* > 0,1$.

Таким образом, можно заключить, что в событиях с большой по модулю четырехмерной передачей от налетающего нейтрона к π^- -мезону /или, что то же самое, - от протона мишени к системе двух конечных протонов/ наблюдается узкий резонанс в системе двух протонов.

Аппроксимация распределения эффективных масс проводилась резонансной кривой Брейта-Вигнера и фоновой, составленной из фазовой кривой /35%/ и распределения, полученного по модели OPER /65%/ /5/. Результат аппроксимации изображен на рис.1 точками; крестиками представлен фон.

Для массы и экспериментальной ширины резонанса методом максимума правдоподобия получены следующие значения: $M_{рез.} = /1936 \pm 2/$ МэВ/с², $\Gamma_{рез.}^{эксп.} = /6,0 \pm 1,4/$ МэВ/с². Экспериментальное разрешение в этом случае равно $\Gamma_{разр.} = 6$ МэВ/с² при аппроксимации функции разрешения по массам кривой Брейта-Вигнера. Тогда для истинной ширины резонанса получаем $\Gamma_{рез.}^{ист.} = /0,0 \pm 1,4/$ МэВ/с².

Сечение образования резонанса с массой 1936 МэВ/с² составило $/63 \pm 18/$ мкб при полном сечении реакции $pr \rightarrow pp\pi^- / P_n = 1,25$ ГэВ/с/, равно $/1,45 \pm 0,06/$ мб.

На рис.2а,б представлены распределения эффективных масс двух протонов из реакции $pr \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 2,23$ ГэВ/с. Рис.2а соответствует событиям с $-0,15 < x_{\pi^-}^* < 0,15$, рис.2б - событиям

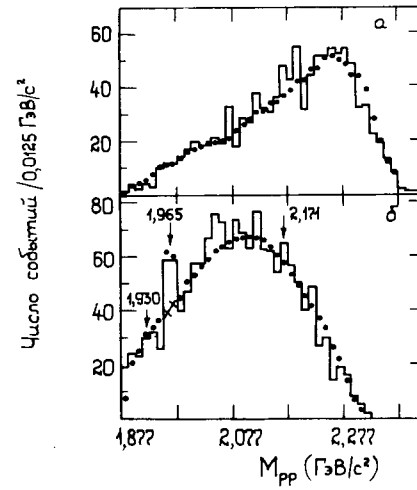
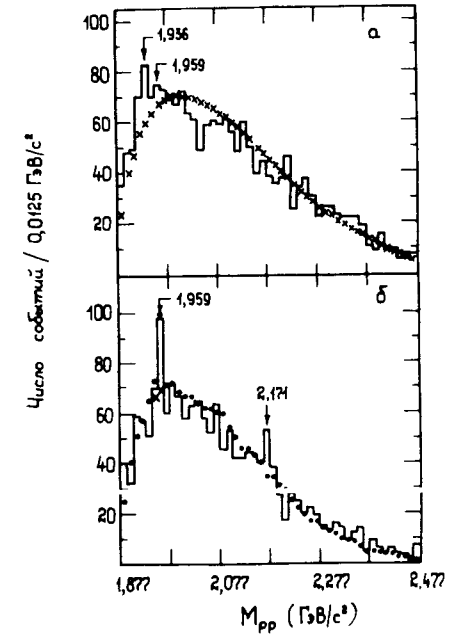


Рис.2. Распределение эффективных масс для двух протонов из реакции $pr \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 2,23$ ГэВ/с: а/ $-0,15 < x_{\pi^-}^* < 0,15$; б/ $-0,15 > x_{\pi^-}^* > 0,15$. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

Рис.3. Распределение эффективных масс двух протонов из реакции $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с: а/ $\Delta^2_{n \rightarrow \Sigma\pi} < 2$ (ГэВ/с²)²; б/ $\Delta^2_{n \rightarrow \Sigma\pi} > 2$ (ГэВ/с²)². Точки - результат аппроксимации; крестики - фон.



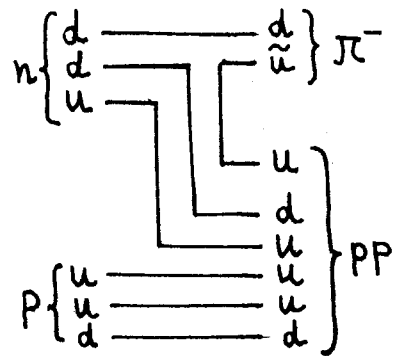
с $-0,15 > x_{\pi^-}^* > 0,15$. Средние значения модулей $|\Delta^2|$ -передач от нейтрона к π^- -мезону во втором случае равны 0,5 (ГэВ/с²)², а в первом - нулю. Распределение на рис.2а хорошо описывается фоновой кривой, которая соответствует сумме распределений, получаемых на основе OPER-модели /85%, а также процесса дифракционного рождения и последующего распада изобары с массой 1470 МэВ/с² и шириной 200 МэВ/с² /15%. В распределении на рис.2б отчетливо виден пик при массе в районе 1960 МэВ/с². Аппроксимация фоновой кривой, описанной выше, и кривой Брейта-Вигнера /результат аппроксимации представлен точками/ дает для массы и экспериментальной ширины резонанса значения $M_{рез.} = /1965 \pm 2/$, $\Gamma_{рез.}^{эксп.} = /9,0 \pm 2,0/$ МэВ/с². Экспериментальное разрешение в этом случае $\Gamma_{разр.} = 8$ МэВ/с². Для истинной ширины резонанса имеем $\Gamma_{рез.}^{ист.} = /1,0 \pm 2,0/$ МэВ/с². Сечение образования резонанса $\sigma_{рез.} = /48 \pm 14/$ мкб при полном сечении реакции $pr \rightarrow pp\pi^- / P_n = 2,23$ ГэВ/с/, равно $/3,41 \pm 0,18/$ мб.

На рис.3 представлены распределения эффективных масс двух протонов из реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с. На рис.3а - для случаев с четырехмерной передачей Δ^2 от нейтрона к системе всех вторичных мезонов, которая меньше 2 (ГэВ/с²)², на рис.3б - для $\Delta^2 > 2$ (ГэВ/с²)². Распределение на рис.3а довольно хорошо описывается фоновой кривой /за исключением небольшого различия в областях масс 1936 и 1960 МэВ/с²/. На рис.3б при массе в районе 1960 МэВ/с² виден резкий пик. Для массы и ширины резонанса метод максимума правдоподобия дает значения $M_{рез.} = 1959 \pm 2$ МэВ/с², $\Gamma_{рез.}^{экср.} = 6,5 \pm 2$ МэВ/с², что при $\Gamma_{разр.} = 6,5$ МэВ/с² приводит к истинной ширине резонанса $\Gamma_{рез.}^{ист.} = 10 \pm 2$ МэВ/с². Аппроксимация резонансной кривой Брейта-Вигнера и фоновой /представлена крестиками/ дает для сечения образования резонанса значение $\sigma_{рез.} = 3,9 \pm 1,1$ мкб при полном сечении реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ / $P_n = 5,10$ ГэВ/с/, равно $0,39 \pm 0,03$ мб.

Моделированный фон включает в себя ряд подпроцессов, через которые идет реакция $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ /в основном это рождения Δ_{33} -изобар в различных зарядовых состояниях/, и учитывает периферичность процесса. Более подробно на фоновой кривой мы остановимся в разделе 2.

В результате совместной обработки данных для реакций $pp \rightarrow pp\pi^-$ при $P_n = 2,23$ ГэВ/с и $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с получаем значения массы и ширины резонанса: $M_{рез.} = 1962 \pm 3$ МэВ/с² и $\Gamma_{рез.}^{ист.} = 10,5 \pm 1,4$ МэВ/с². Отметим еще указание /см. рис.3б/ на существование особенности в эффективной массе двух протонов при значении 2171 МэВ/с².

Метод выделения резонансов, когда в реакциях отбираются события с большими переданными импульсами от протона мишени к системе двух протонов /или от нейтрона к системе π -мезонов/, может свидетельствовать о том, что процесс идет для реакции $pp \rightarrow pp\pi^-$, например, в соответствии с кварковой диаграммой /Ia/:

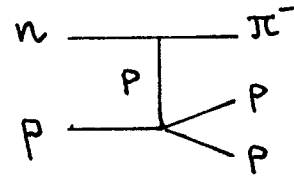


/Ia/

d- и u-кварки нейтрона объединяются с uud-кварками протона мишени. К ним присоединяется u-кварк из пары $u\bar{d}$, вырванной из

вакуума. В результате образуется шестикварковая система $uuudd$, дающая резонанс, одним из каналов распада которого является распад на два протона. Оставшиеся \bar{u} - и d-кварки объединяются в π^- -мезон.

На языке полевых диаграмм мы имеем дело с диаграммами типа барионного обмена:



/I6/

В случае реакций с большим числом π -мезонов из вакуума может быть вырвано большее число кварк-антикварковых пар, но в целом динамика образования дипротонных резонансов остается такой же, как и в случае рождения одного π -мезона.

Если в процессе, изображенном на диаграмме Ia, заменить пару $u\bar{d}$ на $s\bar{s}$, то получим реакцию $pp \rightarrow p\bar{K}^0$, в которой при достаточно больших передачах может возникнуть резонанс в системе Λ_p . Массы таких странных дибарионных резонансов могут отличаться от найденных нами на величину разности масс между странным и нестранным валентными кварками: $\Delta(M_{\Lambda_p}^{рез.} - M_{pp}^{рез.}) = \Delta(M_s - M_u) = \Lambda(M_{\Lambda} - M_p) = 177$ МэВ/с². Сопоставление наших результатов с имеющимися данными о Λ_p -резонансах /8,7/ проведено в таблице /массы резонансов в единицах МэВ/с²/.

Таблица

$M_{pp}^{рез.}$ /данная работа/	$M_{pp}^{рез.} + 177$	$M_{\Lambda_p}^{рез.}$
1936	2113	2098 /8/
1962	2139	2130 /6,7/
2171	2348	2353 /8/

Полученное согласие предсказанных и найденных масс в системе Λ_p может свидетельствовать как о шестикварковой природе Λ_p -резонансов /отметим, что они также имеют ширины порядка нескольких МэВ/с²/, так и о сходных механизмах образования резонансов в системах pp и Λ_p .

Малая ширина обнаруженных резонансов побуждает рассмотреть интересный вопрос, связанный с взаимодействиями адронов с ядрами.

Для образования резонанса в системе двух нуклонов с массой в районе 1936 МэВ/с² достаточно столкнуть друг с другом два нуклона, каждый из которых имеет импульс 0,23 ГэВ/с. Такие нуклоны есть в ядрах, где импульсы Ферми могут простираться и значительно дальше указанного значения. Тогда в ядрах возможно существование довольно значительной доли долгоживущих /по срав-

нению с временем сильного взаимодействия/ шестикварковых динуклонных состояний. Они могут быть выбиты из ядер и наблюдаться как пики в распределениях эффективных масс двух не очень быстрых нуклонов. Такие образования можно наблюдать в камерах, наполненных тяжелыми жидкостями. При этом не играет особой роли энергия и сорт налетающего адрона. Примерно такая картина и наблюдалась в экспериментах /см. ^{3,4}/ . Если изложенная модель справедлива, то выход коррелированных пар нуклонов будет пропорционален A -атомному номеру ядра мишени /сечение нормировано на A / и слабо зависеть от сорта и энергии налетающего адрона.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- 1/ в pp -взаимодействиях при энергиях $1 \div 5$ ГэВ обнаружены резонансы в системе двух протонов с массами 1936 ± 2 и 1962 ± 3 МэВ/с², имеющие ширины порядка нескольких МэВ/с²;
- 2/ резонансы образуются в процессах типа барионного обмена. Доля резонансов составляет несколько процентов от полного сечения соответствующей реакции.

2. РЕЗОНАНСЫ С ИЗОТОПИЧЕСКИМ СПИНОМ $I = 5/2$

Экзотические барионные резонансы с изотопическим спином $I = 5/2$ изучаются с 1964 года ⁸/ разными авторами, в основном с помощью методики пузырьковых камер. Наши исследования проводятся в пучках нейтронов. Последние полученные нами результаты изложены в ⁹/, где исследована реакция



при импульсе первичных нейтронов $P_n = 5,10 \pm 0,17$ ГэВ/с. В системах $\Delta_{33}^{++}\pi^+(\Delta_{33}^-\pi^-)$ обнаружены три резонанса с массами 1438, 1522 и 1894 МэВ/с² и ширинами $\approx 23, \leq 20$ и ≤ 40 МэВ/с² соответственно. Сечения образования резонансов составляли несколько микробарн, точность измерения $\pm 25\%$. Не обнаружено двойного рождения резонансов. Сделана попытка определения спина и четности наблюдаемых новых частиц.

В настоящей работе на большей статистике мы попытались исследовать образование тех же резонансов с другими проекциями изотопического спина, а именно: системы с $I = 5/2, I_3 = \pm 3/2$. Здесь же будет обсуждаться механизм образования резонансов с $I = 5/2$ в наших реакциях.

На рис.4 показано распределение эффективных масс $\Delta_{33}^{++}\pi^+(\Delta_{33}^-\pi^-)$ -комбинаций из реакции $pp \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi$ при $P_n = 5,10 \pm 0,17$ ГэВ/с. Комбинация $N\pi$ считалась принадлежащей Δ_{33} -изобаре, если ее масса была заключена в пределах $M_{N\pi} = 1214 \pm 40$ МэВ/с. Точками на рис.4 изображен результат наилуч-

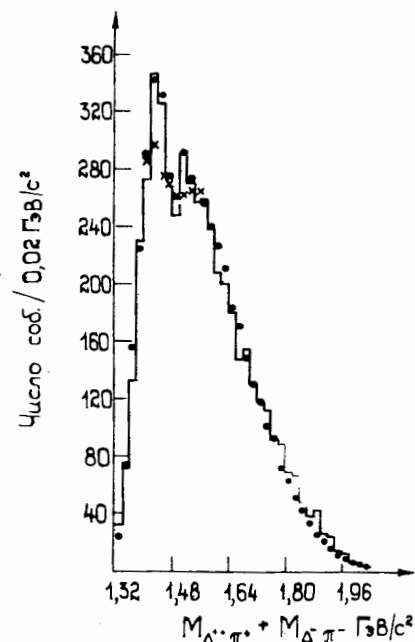


Рис.4. Распределение эффективных масс $\Delta_{33}^{++}\pi^+(\Delta_{33}^-\pi^-)$ -комбинаций из реакции $pp \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с. Точки — результат аппроксимации, крестики — фон.

шей аппроксимации распределения фоновой кривой и двумя резонансными кривыми Брейта-Вигнера с $M_{01} = 1441, \Gamma_{01} = 7$ МэВ/с² и $M_{02} = 1515$ и $\Gamma_{02} = 7$ МэВ/с². При получении кривой учитывались подпроцессы, через которые идет реакция /1/, и периферичность нуклонов в с.ц.м. реакции ⁹/.

Сечения образования резонансов с массами $M_{01} = 1441$ и $M_{02} = 1515$ МэВ/с², распадающихся по схеме $N^{+++} \rightarrow \Delta_{33}^{++}\pi^+$, оказались равными $\sigma_1 = 16,0 \pm 1,6$ и $\sigma_2 = 2,0 \pm 1,3$ мкб соответственно.

В то же время распределение эффективных масс $\Delta_{33}^0\pi^-(\Delta_{33}^+\pi^+)$ -комбинаций из реакции /1/ полностью описывается фоновой кривой.

Рассмотрим теперь реакцию



при $P_n = 5,10$ ГэВ/с. Исследование различных комбинаций вторичных частиц из этой реакции показывает, что она идет в основном через три подпроцесса с образованием Δ_{33} -изобар в различных зарядовых состояниях:



Кроме того, примерно в 6% случаев в реакции рождаются ω^0 - и η^0 -мезоны.

Как и реакция /1/, реакция /2/ — периферична. Периферичность нуклонов в ней учитывается нами так же, как и для реакции /1/, — введением в матричный элемент подпроцессов /2а/÷/2в/ множителя $\exp\{-B|y_{\max} - y_1|\} \cdot \exp\{-B|y_2 - y_{\min}|\}$, где $y_{\max}(y_{\min})$ — максимально/минимально/ возможная продольная быстрота протона в реакции/2/;

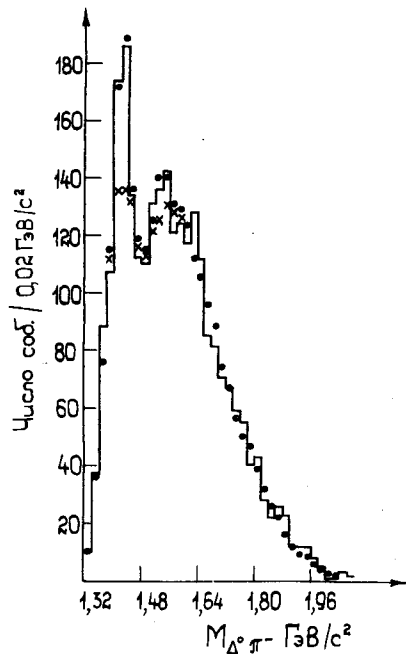


Рис.5. Распределение эффективных масс $\Delta_{33}\pi^-$ -комбинаций из реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

$y_1(y_2)$ - наибольшая /наименьшая/ продольная быстрота протона в данном смоделированном событии. Коэффициент $B = 1,41$.

В дальнейшем для любых распределений фон конструируется из подпроцессов /2а/÷/2в/ с учетом весов, указанных выше; учитывается периферия нуклонов.

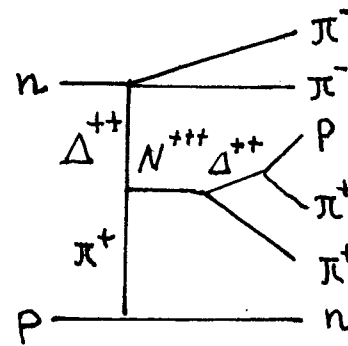
На рис.5 представлено распределение эффективных масс $\Delta_{33}\pi^-$ -комбинаций из реакции /2/. Аппроксимация производилась фоновой кривой и двумя резонансными кривыми Брейта-Вигнера с массами и ширинами $M_{01} = 1422$, $\Gamma_{01} = 11$,

$M_{02} = 1539$, $\Gamma_{02} = 10$ МэВ/с². Сечения образования соответствующих резонансов оказались равными $\sigma_1 = /11 \pm 2,4/$ и $\sigma_2 = /2,7 \pm 2,2/$ мб. На рис.5 крестиками представлена фоновая кривая, точками - результат наилучшей аппроксимации. В то же время распределение эффективных масс $\Delta_{33}\pi^+$ -комбинаций из реакции /2/ полностью описывается фоновой кривой.

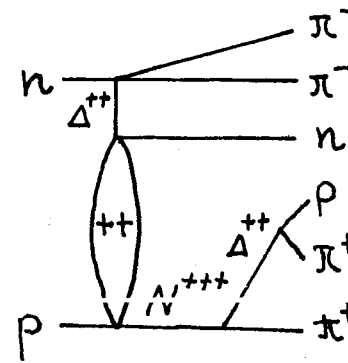
Таким образом, мы заключаем, что в районе эффективных масс 1430 ± 10 и 1525 ± 10 МэВ/с² мы наблюдаем резонансные пики в системах $\Delta_{33}\pi$ как с третьей проекцией изотопического спина $|I_3| = 5/2$, так и с $I_3 = -3/2$. Распределение эффективных масс $\Delta_{33}\pi^0$ не противоречит существованию таких же особенностей, но это распределение менее информативно из-за того, что распад резонанса с $I = 5/2$ по этому каналу в 1,5 раза менее вероятен, чем по каналу $\Delta_{33}\pi^-$.

На основе совокупности фактов, отмеченных выше, а также факта отсутствия заметного двойного рождения резонансов, мы делаем вывод, что резонансы с $I = 5/2$ рождаются посредством механизма барионного обмена.

Диаграммы барионного обмена, соответствующие образованию резонансов с $I = 5/2$, $I_3 = +5/2$ в реакции /1/, можно изобразить следующим образом /рассматривается комбинация $p\pi^+\pi^+$ /:



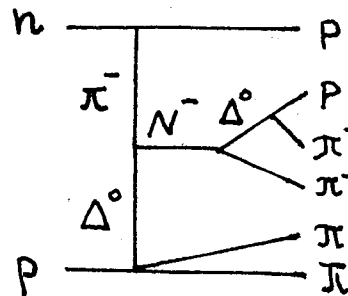
/IIa/



/IIb/

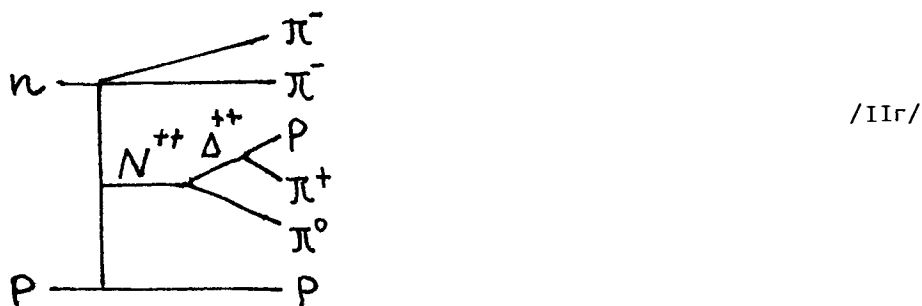
Для комбинаций $\Delta_{33}\pi^-(\Delta_{33}\pi^+)$ в этой реакции нельзя построить диаграммы подобного типа, где два одинаковых мезона испускались бы из одной вершины. Механизмами /IIa/ и /IIb/ можно объяснить отсутствие как двойного рождения резонансов с $I = 5/2$, так и эффектов в комбинациях $\Delta_{33}\pi^-(\Delta_{33}\pi^+)$.

В реакции /2/ для комбинации $\Delta_{33}\pi^-$ подходящей диаграммой является следующая:



/IIв/

Существует диаграмма и для образования резонанса с $I = 5/2$, $I_3 = +3/2$, распадающегося по схеме $N^{++} \rightarrow \Delta_{33}^{++} \pi^0$:



Однако изотопические соотношения не дают определенного предсказания об относительном вкладе диаграмм /IIв/ и /IIг/.

В то же время нельзя нарисовать подобных диаграмм для образования N^{++} , распадающегося на $\Delta_{33}^{++} \pi^+$. Поэтому распределения эффективных масс Δ_{33}^{++} в реакции /2/ описываются целиком фоном.

На основе описанного механизма можно ожидать усиления эффектов образования резонансов, если выделять события, близкие по кинематике диаграммам /IIв,г/.

В реакции /1/ диаграммы /IIа/ и /IIб/ для комбинаций $\Delta_{33}^{++} \pi^+$ могут характеризоваться вылетом обоих π^- -мезонов в переднюю полусферу в общей с.ц.м. /или для изотопически-сопряженной комбинации $\Delta_{33}^{++} \pi^-$ - вылетом обоих π^+ -мезонов в заднюю полусферу/.

Мы построили распределения эффективных масс $\Delta_{33}^{++} \pi^+$ /сложено с $\Delta_{33}^{++} \pi^-$ - комбинаций при условии $\cos \theta_{\pi_1}^* > 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* > 0$ / $\cos \theta_{\pi_1}^* < 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* < 0$ /. Результат представлен на рис.6. Аппроксимация распределения производилась фоновой кривой, построенной на основе подпроцессов реакции /1/ /9/, с ограничениями на $\cos \theta^*$ мезонов и тремя резонансными кривыми с массами и ширинами, равными $M_{01} = 1440$, $\Gamma_{01} = 9$; $M_{02} = 1517$; $\Gamma_{02} = 9$, $M_{03} = 1583$, $\Gamma_{03} = 7$ МэВ/с². Сечения образования резонансов с указанными массами в данных условиях оказались равными $\sigma_1 = /3,3 \pm 0,9/$ мкб, $\sigma_2 = /1,8 \pm 0,8/$ мкб, $\sigma_3 = /1,8 \pm 0,8/$ мкб.

На рис.7 представлено распределение эффективных масс $p \pi^+ \pi^+$ /сложено с $p \pi^- \pi^-$ - комбинаций из событий реакции /1/, в которых $\cos \theta_{\pi_1}^* > 0$ и $\cos \theta_{\pi_2}^* > 0$ /или для $p \pi^- \pi^-$ - $\cos \theta_{\pi_1}^* < 0$ и $\cos \theta_{\pi_2}^* < 0$ /. Для масс и истинных ширин резонансов методом максимума правдоподобия получены значения $M_{01} = 1443 \pm 3$, $\Gamma_{рез.}^{ист.} = /4,5 \pm 6,5/$; $M_{02} = /1509 \pm 4/$, $\Gamma_{рез.}^{ист.} = /0 \pm 8,4/$; $M_{03} = /1592 \pm 3/$, $\Gamma_{рез.}^{ист.} = /0 \pm 5/$ МэВ/с². Отметим, что по мере увеличения массы системы экспериментальное разрешение по массам ухудшается: $\Gamma_{разр.} = 10$ МэВ/с² в области первого резонанса, $\Gamma_{разр.} = 17$ МэВ/с² в области второго и $\Gamma_{разр.} = 24$ МэВ/с² в области третьего. Поэтому приведенные значения ширин резонансов надо рассматривать только в пределах указанных ошибок.

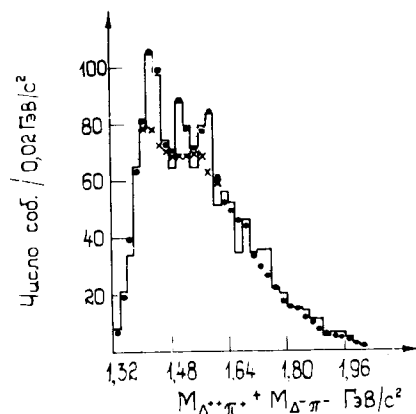


Рис.6. Распределение эффективных масс $\Delta_{33}^{++} \pi^+$ ($\Delta_{33}^{++} \pi^-$) - комбинаций из реакции $p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ при $P_n = 5, 10$ ГэВ/с и условиях $\cos \theta_{\pi_1}^* > 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* > 0$ / $\cos \theta_{\pi_1}^* < 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* < 0$ /. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

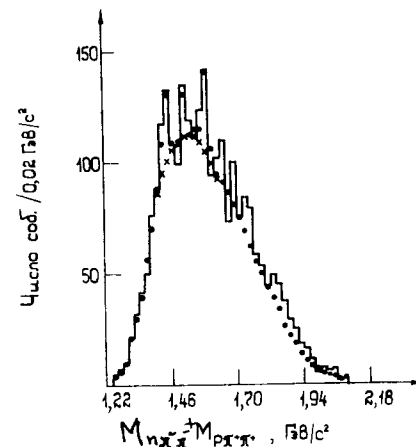


Рис.7. Распределение эффективных масс $p \pi^+ \pi^+$ ($p \pi^- \pi^-$) - комбинаций из реакции $p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ при $P_n = 5, 10$ ГэВ/с и условиях $\cos \theta_{\pi_1}^* > 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* > 0$ / $\cos \theta_{\pi_1}^* < 0$, $\cos \theta_{\pi_2}^* < 0$ /. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

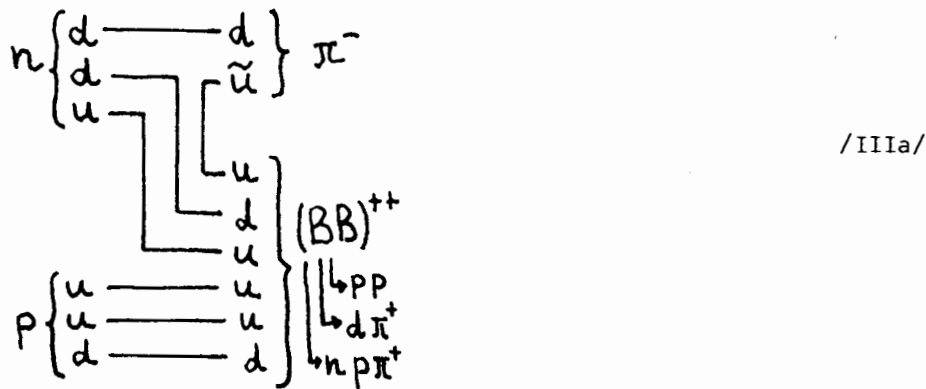
Сечения образования резонансов, распадающихся по схеме $N^{+++} \rightarrow p \pi^+ \pi^+$, оказались равными $\sigma_1 = /3,1 \pm 0,9/$ мкб, $\sigma_2 = /1,5 \pm 0,9/$ мкб и $\sigma_3 = /2,4 \pm 0,9/$ мкб. Сравнение этих сечений с теми, которые были определены для распадов по каналу $N^{+++} \rightarrow \Delta_{33}^{++} \pi^+$, показывает, что в основном распад обнаруженных резонансов с $I = 5/2$ идет через Δ_{33}^{++} -изобару.

В заключение можно сказать, что мы наблюдаем распад резонансов с полным изотопическим спином $I = 5/2$ и проекциями $I_3 = +5/2$ и $I_3 = -3/2$, что является веским аргументом в пользу существования таких систем. Ширины резонансов не превышают 20 МэВ/с². Возможным механизмом образования таких систем является механизм барионного обмена с последующим рассеянием Δ_{33} -изобары на нуклоне. Распад резонансов происходит, в основном, через Δ_{33} -изобару.

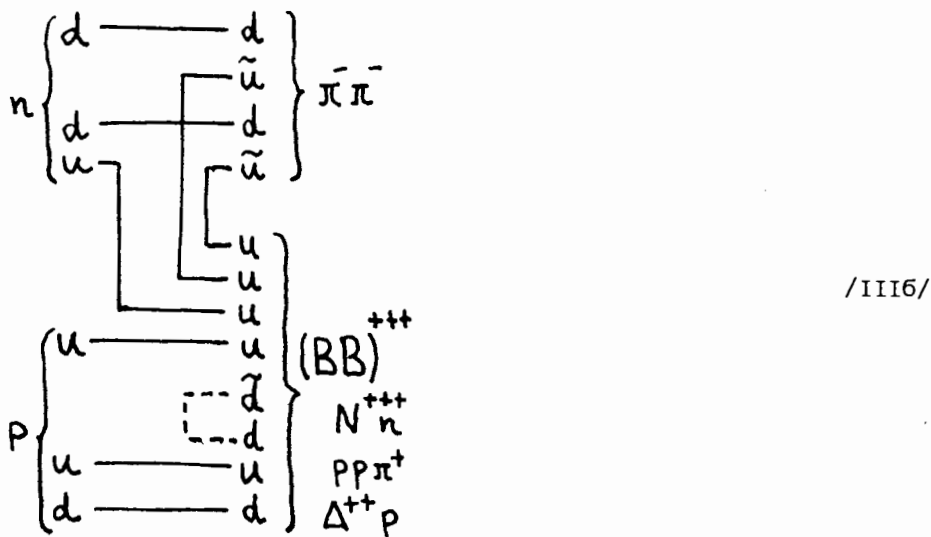
Результаты, согласующиеся с нашими данными, получены недавно в ИТЭФ /10/ в реакции $\pi^+ p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$ /с вылетом π^- -мезона назад в лаб. системе/ при $P_{\pi^+} = 4,37$ ГэВ/с.

3. ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ
МНОГОКВАРКОВЫХ РЕЗОНАНСОВ
И РЕЗОНАНС В СИСТЕМЕ ДВУХ π^- -МЕЗОНОВ

Рассмотрим кварковые диаграммы, которые могут описывать образование динуклонных резонансов в случаях рождения одного и двух π^- -мезонов. Реакциям типа $pn \rightarrow \pi^-(BB)^{++}$ ($pn \rightarrow pp\pi^-$, $pn \rightarrow d\pi^+\pi^-$, $pn \rightarrow p\pi^+\pi^-$) можно сопоставить диаграмму



Для реакций типа $pn \rightarrow \pi^-\pi^-(BB)^{+++}$ ($pn \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$, $pn \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$, $pn \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$):



Как видно, диаграммы /IIIa/ и /IIIb/ имеют много общего: в обеих происходит отрыв одного или двух кварков от начального нуклона

и рождение одной или двух кварк-антикварковых пар из вакуума. В нижнем узле диаграмм образуется шестикварковое состояние, которое затем распадается различными способами. Важно, что шестикварковое состояние образовалось в результате подхвата свободных кварков. Этот процесс подхвата может быть "мягким" в том смысле, что от одной части шестикваркового состояния передается небольшое возбуждение к другой. Тогда, если возможны резонансы между этими двумя частями, они будут иметь небольшие массы. Резонансы с небольшим возбуждением не подвергаются действию каких-либо внешних сил, так как все кварковые перестроения во взаимодействии закончились. В то же время фазовый объем для распада при небольших массах невелик. Возможно, поэтому мы наблюдаем малые ширины у обсуждаемых резонансов. С этой точки зрения интересен верхний узел диаграммы /IIIб/, где два π^- -мезона образовались из двух "спектаторных" d-кварков налетающего нейтрона. Отрыв u-кварка от нейтрона может привести к возбуждению колебаний в системе двух "спектаторных" d-кварков, которые могут носить резонансный характер. Из соображений, изложенных выше, масса такого состояния /после "мягкой" адронизации/ может быть невелика и это состояние может быть довольно долгоживущим. Если потенциал взаимодействия между кварками имеет осцилляторный характер, то можно ожидать целой серии резонансов в системе двух π^- -мезонов, расстояния между которыми будут одинаковыми.

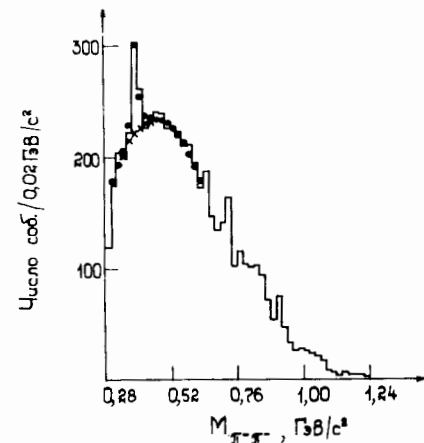


Рис.8. Распределение эффективных масс $\pi^-\pi^-$ из реакции $pn \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n = 5, 10$ ГэВ/с. Точки - результат аппроксимации, крестики - фон.

На рис.8 представлено распределение эффективных масс двух π^- -мезонов из реакции $pn \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ /5735 событий/ при $P_n = 5, 10 \pm 0, 17$ ГэВ/с. В районе массы 390 МэВ/с² виден отчетливый пик. Точками на рис.8 дан результат аппроксимации распределения в области резонанса резонансной кривой в форме кривой Брейта-Вигнера и фоновой кривой, в качестве которой выбран полином

второй степени по массам двух π^- -мезонов. Экспериментальное разрешение по массам в этом случае равно $\Gamma_{\text{разр.}} = 7 \text{ МэВ/с}^2$. Экспериментальная ширина $\Gamma_{\text{рез.}}^{\text{эксп.}} = /18+5/ \text{ МэВ/с}^2$. Отсюда для истинной ширины резонанса имеем $\Gamma_{\text{рез.}}^{\text{ист.}} = /11+5/ \text{ МэВ/с}^2$. $M_{\text{рез.}} = /393+3/ \text{ МэВ/с}^2$. Сечение образования резонанса $\sigma_{\text{рез.}} = /13+3/ \text{ мкб.}$

Таким образом, мы заключаем, что в различных реакциях пр-в взаимодействий мы имеем указания на существование 6-, 5- и 4-кварковых резонансов. При образовании таких состояний вероятен механизм типа барионного обмена. Ширины всех образующихся резонансов по крайней мере на порядок меньше тех, с которыми мы обычно имеем дело в сильных взаимодействиях. Все наблюдаемые эффекты составляют не более нескольких процентов от полных сечений соответствующих реакций.

Для исследования подобных состояний, конечно, требуется значительно большая статистика. Отметим, однако, что эксперименты подобного рода, которых можно предложить довольно много, не требуют очень высоких энергий и могут быть выполнены с помощью уже имеющейся аппаратуры. Самое серьезное требование к таким исследованиям заключается в повышении точности измерений эффективных масс, обусловленной малой шириной резонансов. Конечно, в постановке экспериментов необходимо соблюсти условия минимальности фона, который может быть значительно снижен, если принять за основу механизм образования резонансов, изложенный выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, 1-9111, Дубна, 1975; Abdivaliev A. et al. Nucl.Phys., 1975, B99, p.445.
2. Макаров М.М. УФН, 1982, т.136, вып.2, с.185.
3. Glagolev V.V. et al. JINR, E1-83-59, Dubna, 1983.
4. Байрамов А.А. и др. ОИЯИ, P1-83-207, Дубна, 1983.
5. Боресков К.Б. и др. ЯФ, 1972, т.15, вып.2, с.557; Пономарев Л.А. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып.1, с.186.
6. Shahbazian B.A. In: Proc. of the Int.Conf. on Hypernucl. and Kaon Phys (Ed. by B.Povh). Heidelberg, FRG, June 20-24, 1982, p.287; JINR, E1-82-446, Dubna, 1982; Nucl.Phys., 1982, A374, p.73.
7. Particle Data Group. Phys.Lett., 1982, vol.111B.
8. Goldhaber G. et al. В кн.: XII Международная конференция по физике высоких энергий. Дубна, 1964. Атомиздат, М., 1966, т.1, с.480.
9. Абдидалиев А. и др. ЯФ, 1983, т.37, вып.3, с.629.
10. Мельниченко И.А. и др. ИТЭФ-41, М., 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Бешлиу К. и др.
Многокварковые резонансы в np -взаимодействиях при энергиях $/1+5/$ ГэВ

D1-83-815

В различных реакциях np -взаимодействий при энергиях нейтронов $/1+5/$ ГэВ исследуются резонансы в системах из 6,5 и 4 кварков. Обнаружены резонансы в системе двух протонов с массами 1936 и 1962 МэВ/с², в системах $p\pi^+\pi^+(\pi\pi^-\pi^-)$ и $p\pi^-\pi^-$ -с массами в районе 1430, 1520 и 1580 МэВ/с², в системе двух π^- -мезонов-с массой 390 МэВ/с². Все резонансы имеют ширины порядка 10 МэВ/с². Сечения образования резонансов составляют несколько микробарн; они определены с точностью $/25\div 40/\%$. Обсужден механизм барионного обмена, который, с нашей точки зрения, объясняет образование изучаемых систем.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Besliu C. et al.
Multiquark Resonances in $(1+5)$ GeV np -Interactions

D1-83-815

Resonances in systems of 6,5 and 4 quarks have been studied in various reactions of np -interactions for the energies of incident neutrons $(1+5)$ GeV. The resonances have been found in a system of 2 protons with masses of 1936 and 1962 MeV/c², in $p\pi^+\pi^+(\pi\pi^-\pi^-)$ and $p\pi^-\pi^-$ -systems with masses near 1430, 1520 and 1580 MeV/c² and in a system of $2\pi^-$ -mesons with a mass of 390 MeV/c². The widths of all these resonances are of the order of 10 MeV/c². The production cross sections of the resonances are equal to some microbarns and determined with an accuracy of $(25\div 40)\%$. The mechanism of baryon exchange, which, from our point of view, explains the production of the systems studied, is discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983