

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-97-293

На правах рукописи
УДК 539.17

П-317

ПЕЧЕНОВ
Владимир Николаевич

ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ
УЗКИХ ДИБАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
С ИЗОТОПИЧЕСКИМ СПИНОМ $I=2$
В *np*-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ НАЛЕТАЮЩЕГО НЕЙТРОНА 5,2 ГэВ/с

Специальности: 01.04.01 — техника
физического эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований;
01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1997

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Юрий Александрович
Троян

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Лариса Александровна
Тихонова

доктор физико-математических наук,
профессор

Фангиль Ахматгореевич
Гареев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт общей и ядерной физики РНЦ "Курчатовский институт".

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1997 года
в " _____ " часов на заседании диссертационного совета Д-047.01.02 в
Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных ис-
следований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1997 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических
наук, профессор

Лихачев М.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

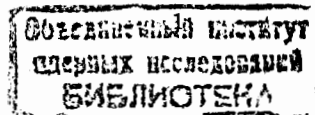
Актуальность работы. Наличие цветových степеней свободы у кварков приводит к предсказанию огромного числа резонансных состояний, большинство из которых еще не наблюдались экспериментально. Например, в работе французских теоретиков [1], посвященной анализу резонансных состояний $NN\pi$, в модели двух цветных мешков соединенных струной, предсказывается около 20 резонансов в системе $pp\pi^+$, изучаемой в нашей работе, в диапазоне эффективных масс ($2 \div 3$ ГэВ/ c^2). Оказалось, что мы наблюдаем, с хорошим совпадением, значительную часть из них.

Однако здесь встает серьезный вопрос о ширинах резонансов, а следовательно, об их природе. Мы не могли бы наблюдать серию резонансов с большой плотностью уровней, если их ширины были бы такими же, как у обычных резонансов. Как будет видно из дальнейшего, экспериментальные ширины наблюдаемых нами резонансов почти на порядок меньше, чем у обычных адронных резонансов. Если принять во внимание результаты других наших работ, связанных с исследованием узких резонансов в системах pp , $\pi\pi$ (см. [2] – [12]), то можно прийти к выводу, что мы имеем дело с новой физикой – взаимодействием кварков (или адронов) на больших расстояниях, где теория сильных взаимодействий далека от законченности. Отсюда очевидна и актуальность экспериментальных исследований таких эффектов.

Основная цель диссертационной работы. В данной работе мы имеем дело с новыми эффектами, полученными в уникальных условиях (подобных нейтронных пучков нет ни в одной лаборатории мира), поэтому основная цель диссертационной работы заключалась не только в исследовании новых резонансов и определении их характеристик, но и в доказательстве значимости наблюдаемых эффектов и в доказательстве чистоты и непротиворечивости используемой методики.

Значимость эффектов демонстрируется не только достаточно большим отклонением от фона, но и совпадением результатов из двух разных реакций при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с как между собой, так и с результатами исследований тех же реакций при $P_n \approx 3,9$ и $4,4$ ГэВ/с.

Методическая значимость демонстрируется удовлетворением ряда тестовых требований (хорошее совпадение полученных нами значений масс и ширин известных резонансов с их табличными значениями,



выполнением соотношений, вытекающих из изотопической симметрии и т.д.). Все это является результатом создания адекватной методики обработки данных и тщательного анализа экспериментального материала.

Научная новизна и практическая ценность работы. Впервые в системе $pp\pi^+$ в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с обнаружена серия узких резонансов. Определены их массы, ширины, сечения и статистические значимости. Определены моды распада резонанса в системе $pp\pi^+$ с массой 2596 МэВ/с². Произведена оценка спинов резонансов с массами 2596 и 2709 МэВ/с².

Практическая ценность работы заключается в возможности сравнения полученных экспериментальных данных с теоретическими моделями в более строгом смысле (получены не только характеристики одного какого-то резонанса, но и последовательность резонансов, характер которой ограничивает класс моделей), в возможности использования наших данных для планирования экспериментов в нейтронных пучках ЛВЭ, в возможности использования этих данных для анализа ядерных взаимодействий, в возможности использования ряда методических приемов при обработке других экспериментов.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждались на семинарах НЭКО и ЛВЭ и докладывались на XII и XIII Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий и на международном совещании "От МэВ до ТэВ" (Созополь 96, Болгария).

Результаты, описанные в диссертации, опубликованы в 9 работах, список которых приводится в конце автореферата.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 78 страницах, включая 30 рисунков и 6 таблиц. Список литературы – 31 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дано обоснование темы. Коротко описывается нейтронный (стриппинговый) канал ЛВЭ ОИЯИ [13] и характеристики точности измерений треков: распределения относительных ошибок измерения треков имеют максимум и полуширину на полувысоте $2,0\% \pm 0,8\%$ для импульсов положительно заряженных треков и $1,9\% \pm 0,7\%$ для отрицательно заряженных треков; $0,0013 \pm 0,0009$ и $0,0023 \pm 0,0014$

– для ошибок измерения тангенсов углов погружения ($\Delta tg\alpha$), соответственно; $0,0008 \pm 0,0005$ рад. и $0,0013 \pm 0,0008$ рад. – для ошибок измерения азимутальных углов β .

В **первой главе** описывается система интерактивных, связанных между собой служебными файлами, программ подготовки результатов геометрической реконструкции треков к последующей обработке. Основными из них являются следующие:

- Интерактивная программа переписи данных с магнитной ленты на IBM-PC с одновременной переформировкой и перекодировкой чисел из внутреннего представления их на ЕС-ЭВМ в представление на IBM-PC. При этом происходит отбор событий, отвечающих заданной топологии.
- Интерактивная программа сортировки событий по номеру пленки, номеру кадра и координатам. Для увеличения скорости сортировки и уменьшения требований к дисковой и оперативной памяти сортируется не исходный файл DST, а индексный файл прямого доступа (этот файл используется и другими программами обработки), содержащий информацию о номере пленки, номере кадра, координатах звезд и номере события в исходном файле DST.
- Интерактивная программа поиска событий измеренных более одного раза и программа объединения нескольких частей статистики в один файл.
Для примера на рисунке 1 приведена копия экрана программы поиска событий измеренных более одного раза, позволяющая просматривать до десяти звезд одновременно и выводить на экран полную информацию о событиях.
- Программы проверки качества измерений треков различными операторами и качества измерений отдельных пленок. Проверка качества измерений треков различными операторами осуществляется сравнением вида, средних значений и дисперсий распределений измеренных длин треков, относительных ошибок импульсов, χ^2 и W^2 описания треков. Отбор пленок осуществляется сравнением средних значений суммарных импульсов \bar{P}_s ($\bar{P}_s = \sum_{j=1}^k P_j/k$, где k – число отобранных с помощью итерационной процедуры событий данной пленки; $\bar{P}_j = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i$, где n

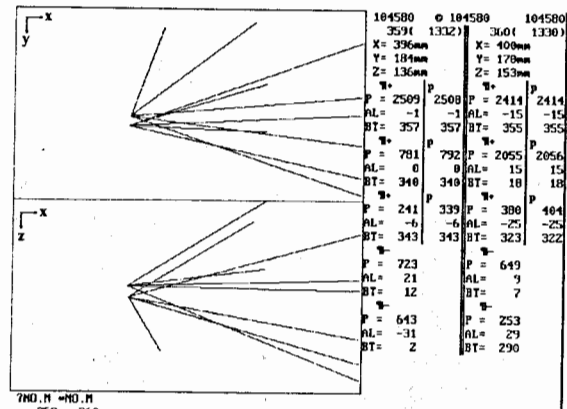


Рис. 1: Копия экрана программы поиска событий измеренных более одного раза.

число заряженных частиц в событии), азимутальных углов β направлений суммарных импульсов \vec{P}_s и тангенсов углов погружения $tg\alpha$ импульсов \vec{P}_s . Такой анализ позволил обнаружить в материалах некоторых сеансов облучения увеличение магнитного поля в камере, небольшое изменение магнитного поля в ускорителе, при котором производился вывод пучка, и плохой прижим фотопленки к стеклу в некоторых лентопротяжных механизмах.

Во второй главе описывается интерактивная программа и методика определения параметров пучка падающих нейтронов, введение поправок на магнитное поле в камере и наличие ложной кривизны. Приводятся результаты определения параметров пучка нейтронов в различных сеансах облучения при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с для пятилучевых звезд.

Величина импульса и направление падающих нейтронов в 1-метровой водородной камере в каждом сеансе облучения определялись по распределениям суммарных импульсов заряженных частиц и направлениям этого импульса для событий, в которых родились только заряженные частицы, и и которые были выделены итерационной процедурой. На рисунке 2 показаны распределения суммарных импульсов P_s ($\vec{P}_s = \sum_{i=1}^5 \vec{P}_i$, где P_i - импульс i -ой частицы) заряженных частиц, тангенсов углов погружения $tg\alpha$ суммарных импульсов, азимутальных углов β направлений суммарных импульсов и балансов энергий F ($F = \sqrt{P_s^2 + m_n^2} - m_p - E_s$, где m_n - масса нейтрона, m_p - масса протона мишени, $E_s = \sum_{i=1}^5 E_i$ - сумма энергий вторичных заряженных частиц)

до и после (заштрихованные гистограммы) отбора событий итерационной процедурой. С помощью этой же программы осуществлялся выбор эффективного объема камеры.

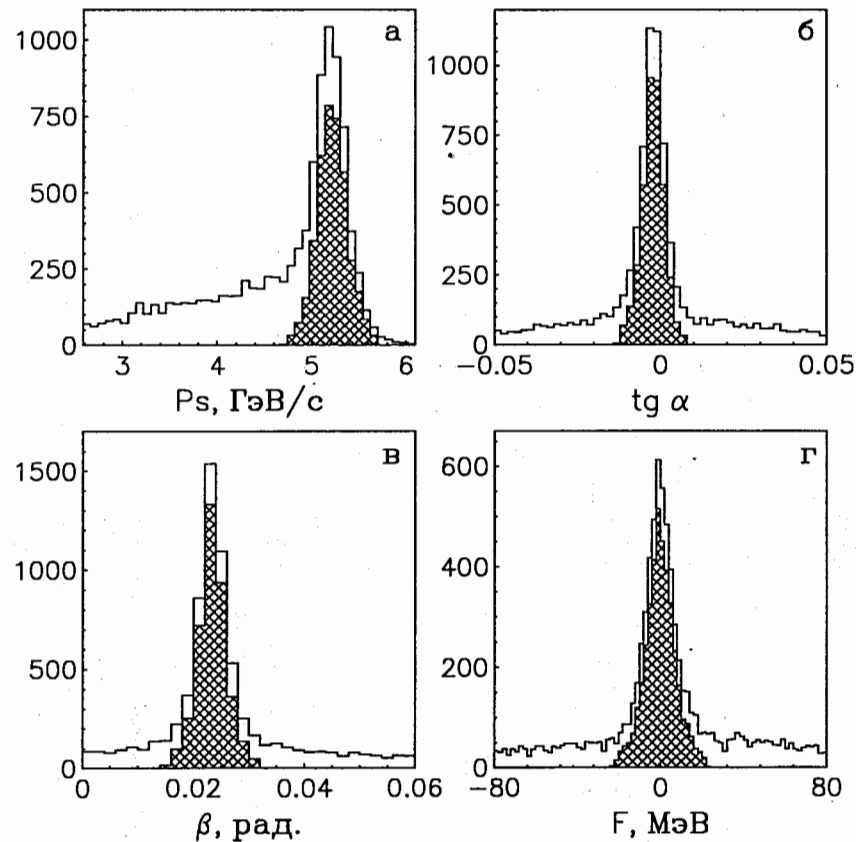


Рис. 2: Распределения суммарных импульсов P_s заряженных частиц (а), тангенсов углов погружения $tg\alpha$ суммарных импульсов (б), азимутальных углов β направлений суммарных импульсов (в) и балансов энергий F (г) до и после (заштрихованные гистограммы) отбора событий итерационной процедурой.

Правильность введения поправок на магнитное поле в камере и на ложную кривизну тестировались различными способами: проверкой положения масс η и ω мезонов, хорошо наблюдающихся в спектре эффективных масс комбинации $\pi^+\pi^-\pi^0$ в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$, проверкой выполнения изотопической симметрии в реакции $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ (в этой реакции для изотопи-

чески симметричных частиц в общей системе центра масс импульсные спектры должны совпадать, а распределения углов вылета частиц Θ^* должны быть зеркально симметричны) и др. На рисунке 3 представлено распределение эффективных масс комбинаций $\pi^+\pi^-\pi^0$ из реакции $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с (сумма всех сеансов облучения). Распределение аппроксимировалось некогерентной суммой

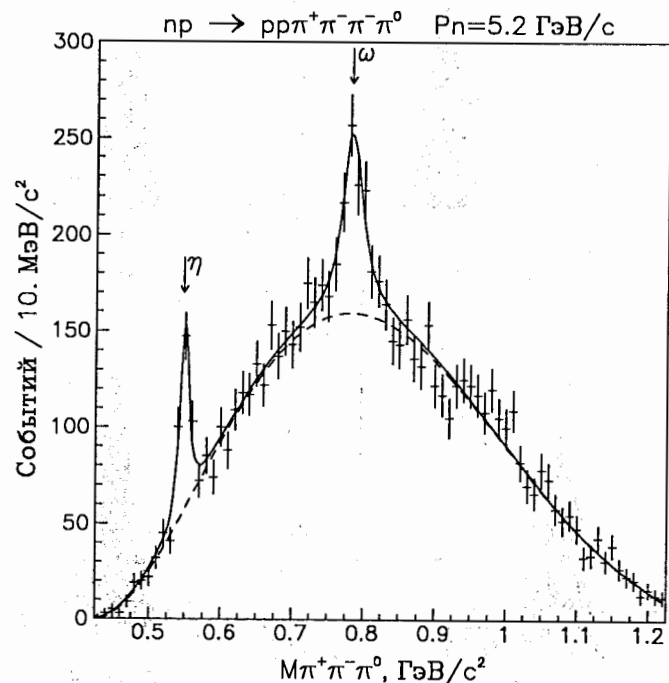


Рис. 3: Распределение эффективных масс комбинаций $\pi^+\pi^-\pi^0$ из реакции $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с. Сплошная кривая – аппроксимация распределения некогерентной суммой фоновой кривой (пунктирная кривая) и двумя резонансными кривыми, взятыми в Брейт – Вигнеровской форме. Стрелки соответствуют табличным значениям масс η и ω мезонов.

фоновой кривой, взятой в виде суперпозиции полиномов Лежандра до пятой степени включительно (коэффициенты при полиномах более высоких степеней незначимы), и двумя резонансными кривыми, взятыми в Брейт – Вигнеровской форме. Доля фона составляет 91,0%. Фон описывает области вне резонансов с χ^2 на одну степень свободы, равным $1,03 \pm 0,11$, и квадратным корнем из дисперсии χ^2 распределения $\sqrt{D} = 1,47 \pm 0,08$, что близко к значениям для чисто статистического

распределения ($\chi^2 = 1$; $\sqrt{D} = 1,41$).

Полученные данные об η и ω – мезонах приведены в таблице 1. В первой колонке таблицы приведены типы частиц; во второй – табличные значения масс частиц; в третьей – экспериментальные значения масс резонансов; в четвертой – их экспериментальные ширины; в пятой – значения сечений образования резонансов в реакции $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ с ошибками, включающими ошибку в определении сечения этой реакции (см. [14]); в шестой колонке – число стандартных отклонений от фона. Число стандартных отклонений рассчитывалось по формуле $S.D. = (N_c - N_b) / \sqrt{N_b}$, где N_c – число событий в эксперименте, N_b – число событий в фоне (пунктирная кривая на рис. 3). Из таблицы 1 видно, что массы этих мезонов, определенные из нашего эксперимента, совпадают с табличными значениями с точностью до $1,5$ МэВ/с² ($\leq 0,3\%$). Значения эффективных масс, ширины и сечений η и ω мезонов, определенные для разных сеансов облучения водородной камеры, совпадают в пределах экспериментальных ошибок.

Таблица 1

	$M_T \pm \Delta M_T$ МэВ/с ²	$M_D \pm \Delta M_D$ МэВ/с ²	$\Gamma_D \pm \Delta \Gamma_D$ МэВ/с ²	$\sigma \pm \Delta \sigma$ μb	S.D.
η	547.45 ± 0.19	$548.6 \pm 2,1$	$11,2_{-2,6}^{+3,1}$	15.4 ± 2.1	13.4
ω	781.94 ± 0.12	$783,1 \pm 2,5$	$32,8_{-7,7}^{+6,6}$	34.6 ± 5.0	10.7

В третьей главе кратко описывается интерактивная программа кинематического фитирования событий, методика разделения событий по каналам реакций, приводятся оценки примеси событий одного канала реакции в другой и потерь событий. В конце главы описывается метод определения разрешения по эффективным массам и по суммарному импульсу нескольких частиц, приводятся результаты определения разрешения по эффективной массе $pr\pi^+$ – комбинации из реакции $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с.

Пятилучевые звезды аппроксимировались тремя каналами реакций: канал "0" – $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ (4С-фит – четыре уравнения связи), канал " π^0 " – $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ (1С-фит – одно уравнение связи) и канал "N" – $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-\pi^0$ (1С-фит – одно уравнение связи). Поскольку в общем случае неизвестно, какие из трех положительно заряженных частиц являются протонами, а какие π^+ – мезонами, то

в каждом канале аппроксимировалось три гипотезы и выбиралась та, которая имеет наименьший χ^2 . Оценка доли событий с неправильно выбранной гипотезой внутри одного канала реакции показала, что в канале "0" содержится 1,1% таких событий, в канале " π^0 " – 2,9%, в канале "N" – 2,2%.

При разделении событий по каналам реакций использовался χ^2 – критерий (отбирались события с $\chi^2 \leq \chi_{гр}^2$). Для канала "0" $\chi_{гр}^2$ был взят равным 12,5, для каналов реакций с рождением одной нейтральной частицы – равным 6,5. Такие границы по χ^2 соответствуют приблизительно однопроцентному доверительному уровню. Если событие удовлетворяло критерию $\chi^2 \leq \chi_{гр}^2$ в гипотезе канала "0", то оно относилось к этому каналу независимо от значений χ^2 в других каналах (правило предпочтения [15]). Когда для одного события одновременно проходили гипотезы канала " π^0 " и канала "N", выбиралась та гипотеза, у которой χ^2 меньше. Оценка показала, что в канале "0" примесь событий канала " π^0 " составляет не более 3,2%, канала "N" – 0,5%; в канале " π^0 " примесь событий канала "N" – 3,9%; в канале "N" примесь событий канала " π^0 " – 2,1%. В работе приводятся качественные подтверждения правильности методики разделения событий по каналам реакций.

Далее приводятся и обосновываются дополнительные критерии отбора событий в различных каналах реакций: по ошибке суммарного импульса всех заряженных частиц и по недостающей массе – для всех каналов реакций; по косинусу угла вылета π^0 в общей системе центра масс – для канала " π^0 "; по импульсу π^+ в лабораторной системе – для канала "N".

Для иллюстрации надежного разделения событий по каналам реакций на рисунке 4 показано выполнение изотопической симметрии для событий реакции $pn \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$: рис. 4а – распределения импульсов протона и нейтрона (сплошная линия) в общей системе центра масс; рис. 4б – распределения квадратов перпендикулярных импульсов p и n (сплошная линия) в с.ц.м.; рис. 4в – распределения косинусов углов вылета p и n (сплошная линия) относительно оси реакции в с.ц.м.; рис. 4г – распределения импульсов π^+ и π^- (сплошная линия) в с.ц.м.; рис. 4д – распределения квадратов перпендикулярных импульсов π^+ и π^- (сплошная линия) в с.ц.м.; рис. 4е – распределения косинусов углов вылета π^+ и π^- (сплошная линия) относительно оси реакции в

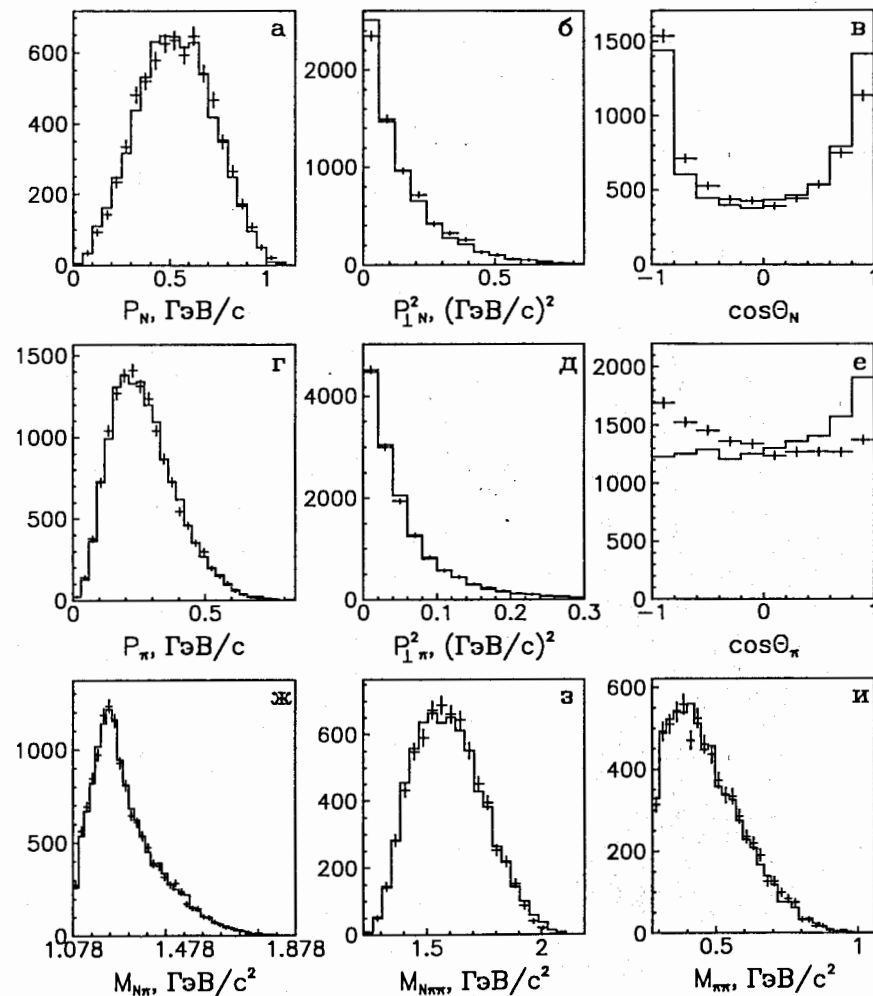


Рис. 4: Распределения, демонстрирующие выполнение изотопической симметрии в реакции $pn \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$.

с.ц.м.; рис. 4ж – распределения эффективных масс комбинаций $p\pi^+$ и $n\pi^-$ (сплошная линия); рис. 4з – распределения эффективных масс комбинаций $p\pi^+\pi^+$ и $n\pi^-\pi^-$ (сплошная линия), рис. 4и – распределения эффективных масс комбинаций $\pi^+\pi^+$ и $\pi^-\pi^-$ (сплошная линия).

В таблице 2 приводятся средние значения и стандартные отклонения для распределений, показанных на рис. 4. Из рисунка и таблицы видно хорошее совпадение распределений для изотопически симметричных частиц.

Таблица 2

	Среднее значение	σ
P_p (МэВ/с)	$532,6 \pm 2,3$	$194,3 \pm 1,7$
P_n (МэВ/с)	$527,1 \pm 2,3$	$193,2 \pm 1,6$
$P_{\perp p}^2$ (ГэВ/с) ²	$0,491 \pm 0,0017$	$0,1419 \pm 0,0012$
$P_{\perp n}^2$ (ГэВ/с) ²	$0,437 \pm 0,0017$	$0,1411 \pm 0,0012$
$\cos\Theta_p^*$	$-0,0489 \pm 0,0082$	$0,6827 \pm 0,0058$
$\cos\Theta_n^*$	$+0,0253 \pm 0,0083$	$0,6933 \pm 0,0059$
P_{π^+} (МэВ/с)	$268,6 \pm 1,0$	$123,1 \pm 0,7$
P_{π^-} (МэВ/с)	$270,3 \pm 1,1$	$123,5 \pm 0,7$
$P_{\perp \pi^+}^2$ (ГэВ/с) ²	$0,0534 \pm 0,0005$	$0,0537 \pm 0,0003$
$P_{\perp \pi^-}^2$ (ГэВ/с) ²	$0,0530 \pm 0,0005$	$0,0530 \pm 0,0003$
$\cos\Theta_{\pi^+}^*$	$-0,0431 \pm 0,005$	$0,5881 \pm 0,0035$
$\cos\Theta_{\pi^-}^*$	$+0,0685 \pm 0,005$	$0,5896 \pm 0,0035$
$M_{p\pi^+}$ (МэВ/с ²)	$1268,4 \pm 1,1$	$124,4 \pm 0,7$
$M_{n\pi^-}$ (МэВ/с ²)	$1270,3 \pm 1,1$	$125,1 \pm 0,8$
$M_{p\pi^+\pi^+}$ (МэВ/с ²)	$1596,4 \pm 1,8$	$149,1 \pm 1,3$
$M_{n\pi^-\pi^-}$ (МэВ/с ²)	$1597,4 \pm 1,8$	$153,6 \pm 1,3$
$M_{\pi^+\pi^+}$ (МэВ/с ²)	$474,0 \pm 1,6$	$130,6 \pm 1,1$
$M_{\pi^-\pi^-}$ (МэВ/с ²)	$471,4 \pm 1,6$	$130,5 \pm 1,1$

После разделения каналов реакций и выполнения дополнительных тестов в реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ остается 8394 события, в реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ – 3884 события, в реакции $nr \rightarrow r\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ – 6680 событий. Такое распределение событий между каналами реакции согласуется с сечениями этих каналов, определенными в работе [14].

Четвертая глава посвящена поиску и исследованию узких дибаронных резонансов с изотопическим спином $I = 2$ в реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ при импульсе налетающих нейтронов $\sim 5,2$ ГэВ/с. По-

казано также наличие этих резонансов как в реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при том же импульсе нейтрона, так и в реакциях $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 4,43 \pm 0,11$ ГэВ/с и $P_n = 3,88 \pm 0,10$ ГэВ/с. Приводится анализ мод распада резонанса в системе $rrp\pi^+$ с массой 2596 МэВ/с² и оценка спинов резонансов с массами 2596 МэВ/с² и 2709 МэВ/с². Конец главы посвящен обзору экспериментальных данных по поиску дибаронных резонансов с изотопическим спином $I = 2$.

На рисунке 5 представлено распределение эффективных масс $rrp\pi^+$ комбинаций из реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с. Рас-

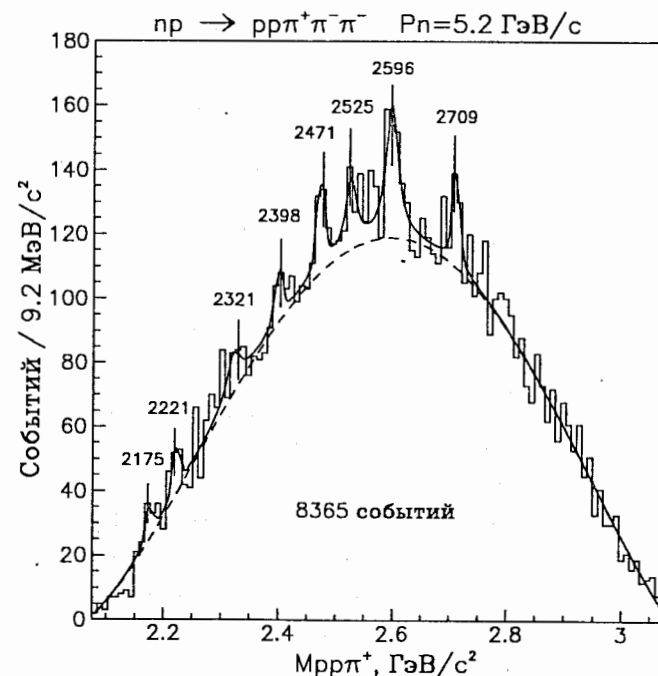


Рис. 5: Распределение эффективных масс $rrp\pi^+$ - комбинаций из реакции $nr \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с. Сплошная кривая - аппроксимация фоном и восемью Брейт-Вигнеровскими функциями, пунктирная кривая - вклад фона (полином Лежандра четвертой степени).

пределение аппроксимировалось некогерентной суммой фоновой кривой, взятой в виде суперпозиции полиномов Лежандра до четвертой степени включительно, и восемью резонансными кривыми, взятыми в Брейт - Вигнеровской форме. Доля фона составляет 93,1%. Фон

описывает области вне резонансов с χ^2 на одну степень свободы, равным $0,89 \pm 0,12$, и квадратным корнем из дисперсии χ^2 -распределения $\sqrt{D} = 1,34 \pm 0,08$, что очень близко к значениям для чисто статистического распределения ($\chi^2 = 1$; $\sqrt{D} = 1,41$). Фоновая кривая, нормированная на полное число событий (на 100%), описывает экспериментальное распределение с $\chi^2 = 1,14 \pm 0,10$ и $\sqrt{D} = 1,65 \pm 0,07$, что заметно отличается от теоретических значений для чисто статистического распределения.

Таблица 3

$M_e \pm \Delta M_e$ МэВ/с ²	$\Gamma_e \pm \Delta \Gamma_e$ МэВ/с ²	$\Gamma_R \pm \Delta \Gamma_R$ МэВ/с ²	$\sigma \pm \Delta \sigma$ μb	$S.D.$	P
2175 ± 6	$17,6_{+13,9}^{-5,5}$	$12,8_{+13,9}^{-5,5}$	$1,7 \pm 0,7$	2,8	$7,4 \cdot 10^{-2}$
2221 ± 6	$18,5_{+12,8}^{-5,3}$	$12,1_{+12,8}^{-5,3}$	$2,5 \pm 0,8$	3,5	$9,2 \cdot 10^{-3}$
2321 ± 24	$35,1_{+62,4}^{-15,5}$	$30,0_{+62,4}^{-15,5}$	$2,2 \pm 1,1$	3,2	$1,0 \cdot 10^{-2}$
2398 ± 8	$19,7_{+23,4}^{-6,6}$	$0,0_{+23,4}$	$2,9 \pm 1,4$	2,3	$3,3 \cdot 10^{-1}$
2471 ± 5	$21,9_{+9,6}^{-4,7}$	$0,0_{+9,6}$	$4,1 \pm 1,3$	3,4	$1,1 \cdot 10^{-2}$
2525 ± 7	$28,6_{+31,7}^{-10,7}$	$10,1_{+31,7}^{-10,1}$	$4,0 \pm 1,4$	3,2	$2,6 \cdot 10^{-2}$
2596 ± 6	$31,5_{+18,0}^{-9,1}$	$10,3_{+18,0}^{-9,1}$	$9,2 \pm 1,9$	5,6	$1,9 \cdot 10^{-7}$
2709 ± 6	$19,2_{+15,4}^{-5,8}$	$0,0_{+15,4}$	$4,9 \pm 1,6$	3,5	$7,1 \cdot 10^{-3}$

Полученные данные приведены в таблице 3. В первой колонке таблицы приведены центральные значения масс резонансов; во второй – их экспериментальные ширины; в третьей – истинные ширины резонансов, полученные квадратичным вычитанием из экспериментальной ширины соответствующего разрешения по эффективным массам $pp\pi^+$ – комбинаций (разрешение по массе линейно растет от 2,7 до 17 МэВ/с² при изменении массы от суммы масс до $\sim 2,7$ ГэВ/с²). В четвертой колонке приведены значения сечений образования резонансов в реакции $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ с ошибками, включающими ошибку¹ в определении сечения этой реакции; в пятой колонке – число стандартных отклонений от фона; в шестой – произведение вероятности того, что данные особенности являются фоновыми флуктуациями, на отношение числа бинов во всем распределении к числу бинов в области соответствующего резонанса. Число стандартных отклонений рассчитывалось по формуле $S.D. = (N_e - N_b) / \sqrt{N_b}$, где N_e – число событий в эксперименте, N_b – число событий в фоне (пунктирная кривая на

рис. 5).

На рисунке 6 представлено распределение эффективных масс $pp\pi^+$ – комбинаций из реакций $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$. Это распределение, обрабатывалось так же, как и распределение на рис. 5. Доля фона составляет 93,9%. Фон описывает области вне резонансов с $\chi^2 = 0,89 \pm 0,12$; $\sqrt{D} = 1,41 \pm 0,09$. На этом же рисунке приведено распределение (нижняя гистограмма) эффективных масс $pp\pi^+$ – комбинаций только из реакции $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$. Вертикальными линиями из точек показано положение масс резонансов. Результаты аппроксимации представлены в таблице 4. Обозначения колонок такие же, как и в таблице 3.

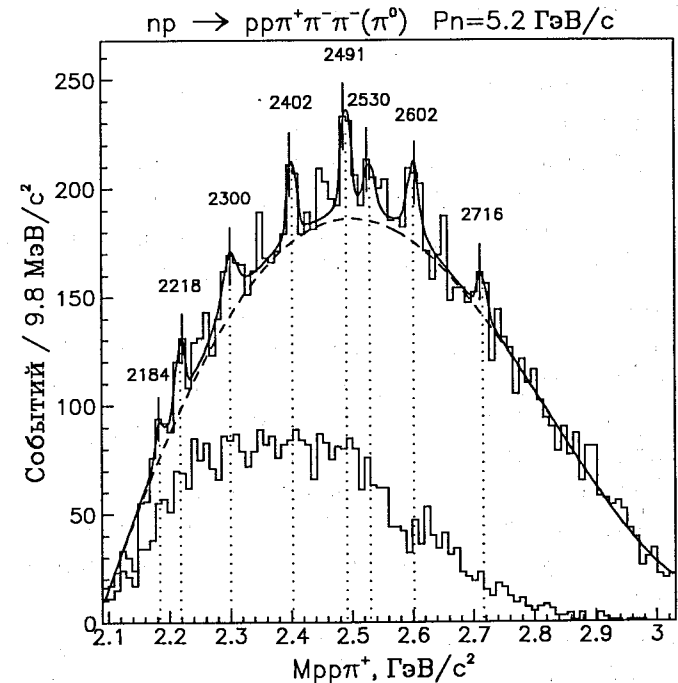


Рис. 6: Распределение эффективных масс $pp\pi^+$ – комбинаций из реакций $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с. Сплошная кривая – аппроксимация фоном и восемь Брейт-Вигнеровскими функциями, пунктирная кривая – вклад фона. Нижняя гистограмма – распределение из реакций $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$. Вертикальные линии из точек соответствуют подобранным массам резонансов.

Из сопоставления таблиц 3 и 4 видно, что добавление к событиям реакции $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ события реакции $pr \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ приводит

Таблица 4

$M_e \pm \Delta M_e$ МэВ/ c^2	$\Gamma_e \pm \Delta \Gamma_e$ МэВ/ c^2	$\Gamma_R \pm \Delta \Gamma_R$ МэВ/ c^2	$S.D.$	P
2184 ± 7	$17,2_{-6,8}^{+21,7}$	$11,6_{-6,8}^{+21,7}$	2,5	$2,3 \cdot 10^{-1}$
2218 ± 5	$21,0_{-5,5}^{+12,4}$	$15,8_{-5,5}^{+12,4}$	4,1	$1,1 \cdot 10^{-3}$
2300 ± 8	$37,4_{-14,8}^{+45,2}$	$32,7_{-14,8}^{+45,2}$	3,7	$2,5 \cdot 10^{-3}$
2402 ± 5	$21,3_{-5,5}^{+12,6}$	$0,0_{+12,6}$	3,6	$8,3 \cdot 10^{-3}$
2491 ± 5	$23,8_{-4,0}^{+6,7}$	$0,0_{+6,7}$	4,8	$3,0 \cdot 10^{-5}$
2530 ± 8	$29,5_{-8,2}^{+18,7}$	$10,6_{-8,2}^{+18,7}$	3,2	$1,8 \cdot 10^{-2}$
2602 ± 7	$26,7_{-8,6}^{+20,6}$	$0,0_{+20,6}$	4,1	$5,9 \cdot 10^{-4}$
2716 ± 6	$20,6_{-9,7}^{+6,9}$	$0,0_{+6,9}$	2,0	$7,4 \cdot 10^{-1}$

к росту статистических значимостей особенностей, расположенных в той области масс $pp\pi^+$, где вклад событий реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ существен (приблизительно в соответствии с увеличением статистики). Падение значимости резонансов с массами около 2184, 2602 и 2716 МэВ/ c^2 объясняется завышением фона в районе этих масс из-за сложного поведения спектра масс $pp\pi^+$ из реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ в этих областях.

На рисунке 7 представлено распределение эффективных масс $pp\pi^+$ - комбинаций из реакций $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 4,43 \pm 0,11$ ГэВ/с и $P_n = 3,88 \pm 0,10$ ГэВ/с, полученных нами в других сеансах. Заштрихованные области на этом рисунке соответствуют положениям и экспериментальным ширинам резонансов, обнаруженных в этих же реакциях при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с. Наблюдается хорошее совпадение этих резонансов с выбросами в экспериментальном распределении на рис. 7.

Эти факты подтверждают существование особенностей, обнаруженных в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$.

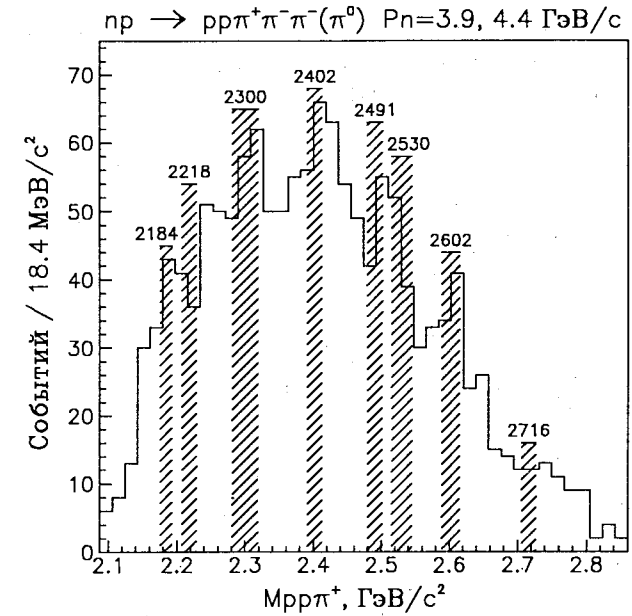


Рис. 7: Распределение эффективных масс $pp\pi^+$ - комбинаций из реакций $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 4,43$ ГэВ/с и $3,88$ ГэВ/с. Заштрихованные области соответствуют положениям и экспериментальным ширинам резонансов, обнаруженных в тех же реакциях при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с.

Анализ мод распада резонанса с массой 2596 МэВ/ c^2 в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с показал, что он распадается по трем каналам:

$$(BB)_{2596}^{+++} \rightarrow \Delta_{33p} \quad (83 \pm 23)\%$$

$$(BB)_{2596}^{+++} \rightarrow (BB)_{2095}^{++}\pi^+ \quad (10 \pm 3)\%$$

$$\rightarrow pp$$

$$(BB)_{2596}^{+++} \rightarrow pp\pi^+ \quad (7 \pm 15)\%$$

Здесь $(BB)_{2095}^{++}$ - резонанс в системе pp с массой 2095 МэВ/ c^2 . Сигналы от pp -резонансов отмечались как в наших работах, так и в ряде других экспериментов (см. обзор [16]).

На рисунке 8 приведено распределение эффективных масс pp на изучаемом здесь канале реакции - $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2$ ГэВ/с.

Распределение обработано аналогично гистограмме 5. Положение особенностей на рисунке хорошо согласуется с массами резонансов обнаруженных нами в другой работе [11]. Стрелкой на рисунке 8 отмечено положение массы $M_{pp} = 2095 \text{ МэВ}/c^2$.

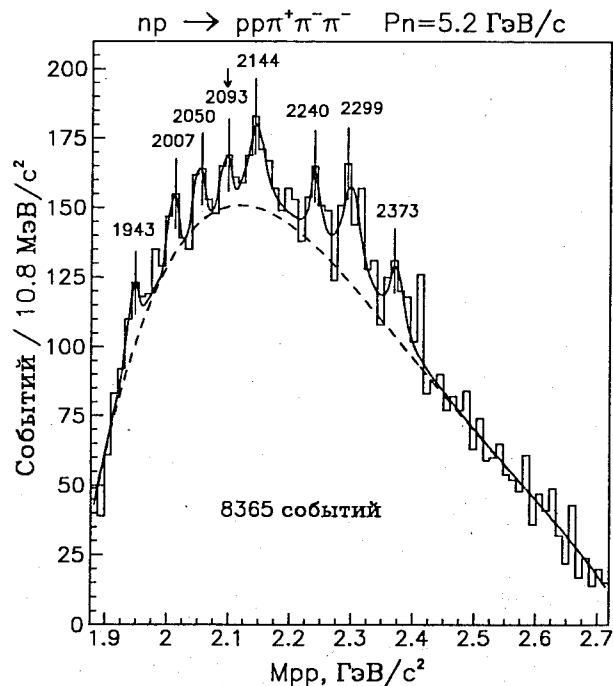


Рис. 8: Распределение эффективных масс pp - комбинаций из реакции $pr \rightarrow ppp^+\pi^-\pi^-$ при $P_n = 5, 20 \pm 0, 13 \text{ ГэВ}/c$. Сплошная кривая - аппроксимация фоном и восемь Брейт-Вигнеровскими кривыми, пунктирная кривая - вклад фона (полином Лежандра четвертой степени).

Известно, что в сильных трехчастичных распадах резонансов угловые распределения по $\cos\theta_{\vec{n}, \vec{P}_{Res}}$ угла между нормалью к плоскости распада резонанса (\vec{n}) и направлением его полета (\vec{P}_{Res}) в общей системе центра масс описываются суммой четных полиномов Лежандра, максимальная степень которых равна $2J$, где J - полный спин [17]. На рисунке 9 приведены результаты анализа спинов резонансов с массами $2596 \text{ МэВ}/c^2$ и $2709 \text{ МэВ}/c^2$ из реакции $pr \rightarrow ppp^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5, 2 \text{ ГэВ}/c$:

рис. 9а - распределение по $\cos\theta_{\vec{n}, \vec{P}_{Res}}$ событий из области резонанса с

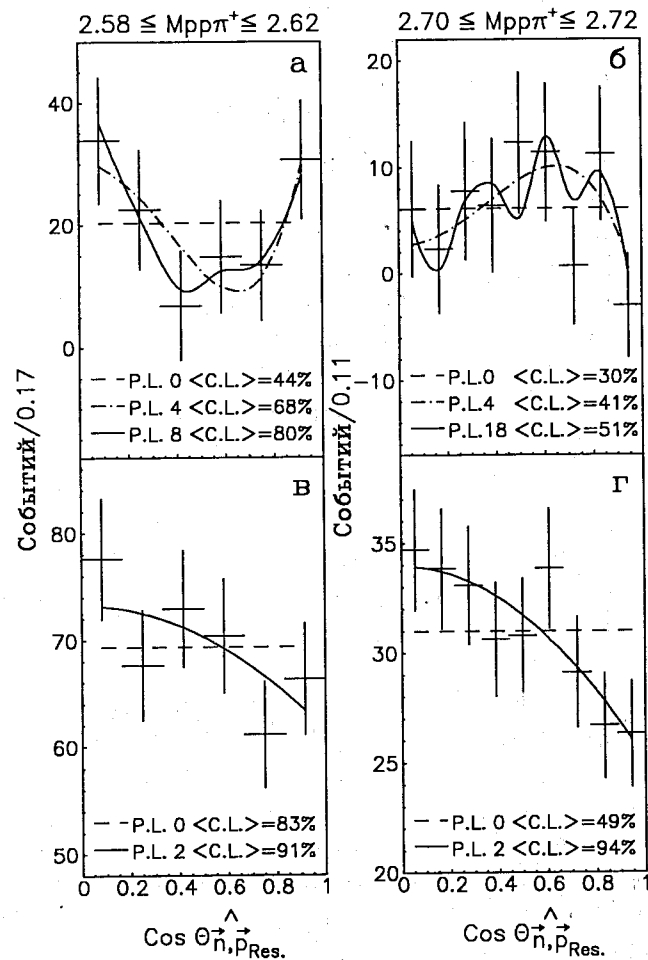


Рис. 9: а - распределение по $\cos\theta_{\vec{n}, \vec{P}_{Res}}$ событий из области резонанса с массой $2596 \text{ МэВ}/c^2$ после вычитания фона. Горизонтальная пунктирная линия - полином Лежандра нулевой степени, штрих-пунктирная линия - сумма полиномов 0-ой и 4-ой степени, сплошная линия - сумма полиномов 0-ой, 4-ой и 8-ой степени; б - распределение по $\cos\theta_{\vec{n}, \vec{P}_{Res}}$ событий из области резонанса с массой $2709 \text{ МэВ}/c^2$ после вычитания фона. Горизонтальная пунктирная линия - полином Лежандра нулевой степени, штрих-пунктирная линия - сумма полиномов 0-ой и 4-ой степени, сплошная линия - сумма полиномов 0-ой, 4-ой и 18-ой степени; в, г - фоновые распределения в областях резонансов с массами 2596 и $2709 \text{ МэВ}/c^2$, соответственно, определенные линейной интерполяцией соответствующих распределений из областей справа и слева от резонансов. Пунктирные горизонтальные линии - описания распределений полиномом Лежандра нулевой степени, непрерывные линии - описания полиномом 2-ой степени.

массой $2596 \text{ МэВ}/c^2$ после вычитания фона. Горизонтальная пунктирная линия – полином Лежандра нулевой степени, штрих-пунктирная линия – сумма полиномов 0-ой и 4-ой степени, сплошная линия – сумма полиномов 0-ой, 4-ой и 8-ой степени;

рис. 9б – распределение по $\cos\Theta_{\vec{n}, \vec{P}_{Res}}$ событий из области резонанса с массой $2709 \text{ МэВ}/c^2$ после вычитания фона. Горизонтальная пунктирная линия – полином Лежандра нулевой степени, штрих-пунктирная линия – сумма полиномов 0-ой и 4-ой степени, сплошная линия – сумма полиномов 0-ой, 4-ой и 18-ой степени;

рис. 9в,г – фоновые распределения в областях резонансов с массами 2596 и $2709 \text{ МэВ}/c^2$, соответственно, определенные линейной интерполяцией соответствующих распределений из областей справа и слева от резонансов. Пунктирные горизонтальные линии – описания распределений полиномом Лежандра нулевой степени, непрерывные линии – описания полиномом 2-ой степени.

На рисунках приведены средние доверительные уровни описания этих распределений. Видно, что хотя и нельзя отрицать изотропного характера этих распределений, но наиболее вероятное значение спина резонанса с массой $2596 \text{ МэВ}/c^2 - J \geq 4$, а для резонанса с массой $2709 \text{ МэВ}/c^2 - J \geq 9$.

В обзоре экспериментальных данных по поиску дибарионных резонансов с изотопическим спином $I = 2$ (обсуждаются работы [18]–[22]) показано, что имеющиеся в литературе крайне немногочисленные данные касаются, в основном, поиска резонансов в областях масс, значительно более низких, чем изучаемые в нашем эксперименте. При этом часть из них (ядерные взаимодействия) допускают другие, не резонансные, интерпретации. В работе французских физиков [19], выполненной электронной методикой (изучалась реакция $\vec{p} + p \rightarrow \pi^- + X$ при $T_p = 2,1 \text{ ГэВ}$ и $2,7 \text{ ГэВ}$, π^- регистрировался под углом $13,8^\circ$) и имеющей неплохую статистику, наблюдаются две особенности при массах в районе $2160 \text{ МэВ}/c^2$ и $2460 \text{ МэВ}/c^2$ ($2,6\sigma$ и 2σ , соответственно). В работе [22] наблюдается особенность в спектре эффективных масс $pp\pi^-$ – комбинаций при массе $2,063 \text{ ГэВ}/c^2$ на уровне 4σ . Вопрос о ее изотопическом спине остается открытым.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Написан пакет интерактивных, связанных между собой, программ подготовки к физической обработке результатов геометрической реконструкции треков. Пакет включает в себя программы переписи, переформатирования, сортировки, поиска событий померенных более одного раза, выдачи листинга для проверки правильности измерений и идентификации по пиннизации, проверки качества измерений различными операторами и проверки однородности качества материала для различных пленок одного облучения и др. Написаны программы аппроксимации (на основе программы MINUIT) распределений различными функциями и другие служебные программы. Всего около 70 программ. Также созданы несколько библиотек, содержащих около 150 подпрограмм, написанных на Фортране и Ассемблере, облегчающих обработку экспериментальных данных.

2. Разработана методика и написана интерактивная программа определения параметров пучка нейтронов и введения поправок на магнитное поле в камере и на ложную кривизну. Для проверки материала проанализировано распределение эффективных масс комбинации $\pi^+\pi^-\pi^0$ из реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$, в котором хорошо наблюдаются η и ω мезоны. Массы этих мезонов, определенные из нашего эксперимента, совпадают с табличными значениями с точностью до $1,5 \text{ МэВ}/c^2$ ($\leq 0,3\%$).

3. Разработаны методы разделения событий по различным каналам реакций. Помимо совпадения значений эффективных масс обычных резонансов с табличными значениями, продемонстрировано выполнение соотношений, следующих из изотопической симметрии. Оценены доли примеси событий из других каналов реакций и потери событий.

4. Написана универсальная подпрограмма определения экспериментального разрешения по массам, суммарным импульсам и т.д.

5. Впервые в системе $pp\pi^+$ в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $P_n \approx 5,2 \text{ ГэВ}/c$ обнаружена серия узких резонансов. Показано, что в канале $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ наблюдаются такие же особенности. Эти данные хорошо согласуются с выбросами в спектре эффективных масс $pp\pi^+$ из реакций $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$ и $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n \approx 4,4 \text{ ГэВ}/c$ и при $P_n \approx 3,9 \text{ ГэВ}/c$, изученных нами же.

6. Определены вероятности распада резонанса в системе $pp\pi^+$ с

массой 2596 МэВ/с² по различным каналам: с вероятностью (83±23)% резонанс распадается по каналу $\rightarrow \Delta_{33}^{++}p$, с вероятностью (10±3)% – по каналу $\rightarrow (BB)_{2095}^{++}\pi^+$ и с вероятностью (7±15)% – по каналу $\rightarrow pp\pi^+$. Здесь $(BB)_{2095}^{++}$ – дибарион в системе 2-х протонов с массой в районе 2095 МэВ/с². Приводится спектр эффективных масс pp из той же реакции, в котором наблюдаются пики в областях масс, совпадающих с pp -резонансами, обнаруженными нами ранее.

7. Оценка спинов резонансов с массами 2596 и 2709 МэВ/с² в системе $pp\pi^+$ дала наиболее вероятные значения $J \geq 4$ и $J \geq 9$, соответственно.

8. Приведен обзор экспериментальных данных по поиску дибарионных резонансов с изотопическим спином $I = 2$.

Большинство результатов получено впервые. Они изложены в следующих работах:

1. С. Besliu et al. Preprint JINR, D1-83-815, Dubna, 1983; Труды симпозиума "Нуклон-нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях" (23-25 апреля 1984г., Ленинград).

2. К. Бешлиу и др. Препринт ОИЯИ, Д1-85-433, Дубна, 1985.

3. Ю.А. Троян и др. Краткие сооб. ОИЯИ, No.13-85, 1985.

4. Ю.А. Троян и др. Препринт ОИЯИ, Д1-88-329, Дубна, 1988; IX Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 14-19 сентября 1988г.

5. Ю.А. Троян, В.Н. Печенов Препринт ОИЯИ, P1-90-139, Дубна, 1990.

6. Ю.А. Троян, В.Н. Печенов Препринт ОИЯИ P1-92-290, Дубна, 1992;

Proc.of the XIth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems. Dubna,Russia, Sept., 1992; ЯФ, т.56, в.4, 1993. с.191.

7. Yu.A. Troyan et al. Proc. of Seminar on High Energy Phys. Probl. Relat. Nucl. Phys. and Quantum Chromodynamics, (Dubna, Sept., 1994);

8. Yu.A. Troyan et al. JINR Rapid Comm., No.4[67], 1994. p.67.

9. Yu.A. Troyan et al. Proc. of Seminar on High Energy Phys. Probl. Relat. Nucl. Phys. and Quantum Chromodynamics, (Dubna, Sept., 1996)

Литература

- [1] В. Tatischeff IPNO-DRE. 94-19, 1994.
- [2] С. Besliu et al. Preprint JINR, D1-83-815, Dubna, 1983; Труды симпозиума "Нуклон-нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях" (23-25 апреля 1984г., Ленинград).
- [3] К. Бешлиу и др. Препринт ОИЯИ, Д1-85-433, Дубна, 1985.
- [4] Ю.А. Троян и др. Краткие сооб. ОИЯИ, No.13-85, 1985.
- [5] Ю.А.Троян и др. Труды симпозиума "Нуклон-нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях" (21-23 апреля 1986г., Ленинград).
- [6] Ю.А. Троян и др. Препринт ОИЯИ, Д1-88-329, Дубна, 1988; IX Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 14-19 сентября 1988г.
- [7] В.В. Авдейчиков и др. Препринт ОИЯИ P1-90-52, Дубна, 1990; ЯФ т.54, в.1[7], 1991
- [8] Ю.А. Троян и др. Препринт ОИЯИ, P1-90-78, Дубна, 1990.
- [9] Ю.А.Троян и др. Препринт ОИЯИ P1-90-79, Дубна, 1990; ЯФ т.54, в.5[11], 1991
- [10] Ю.А.Троян и др. Proc. of the X Intern. Seminar on High Energy Physics Problems. Dubna, Sept., 1990.
- [11] Ю.А. Троян, В.Н. Печенов В.Н. Препринт ОИЯИ P1-92-290, Дубна, 1992; Proc.of the XIth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems. Dubna,Russia, Sept., 1992; ЯФ, т.56, в.4, 1993. с.191.
- [12] Yu.A.Troyan et al. JINR Rapid Communications No.6[80]-96, 1996.
- [13] А.П.Гаспарян и др., ПТЭ, No.2, p.37, 1977; Сообщение ОИЯИ 1-9111, Дубна, 1975.
- [14] К. Бешлиу и др. ЯФ, т.43, в.4, 1986. с.888.

- [15] А. Абдвалиев и др. Препринт ОИЯИ, 1-10669, Дубна, 1977.
- [16] Ю.А. Троян Ю.А. ЭЧАЯ, 24, (Май-Июнь 1993), pp.683-730,
(Phys.Part.Nucl., 24 (3), May-June 1993, pp.294-316).
- [17] А.М. Балдин А.М. и др. "Кинематика ядерных реакций", "Атомиздат", М, 1968.
- [18] К.Н. Ермаков и др. Препринт ЛИЯФ-1158, Л., 1986(7).
- [19] M.P. Combes-Comets et al. PRC, v.43, No.3, 1991, p.973.
- [20] B. Parker et al. PRL, v.63, No.15, 1989, p.1570.
- [21] J. Julien et al. Z.Phys.A 347, 1994, p.181.
- [22] W. Brodowski et al. Z.Phys.A 355, 1996, p.5.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 сентября 1997 года.