

B - 812

1-82-606

ВРБА
Вацлав

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЗОНАНСОВ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ АНТИПРОТОНОВ
С ПРОТОНАМИ ПРИ 22,4 ГэВ/с

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

ЛЕДНИЦКИ Рихард

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

БФРЕМОВ
Анатолий Васильевич

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

АММОСОВ
Владимир Васильевич

Ведущая организация: Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится " " 1982 г. в " " часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

М. Ф. Дыхачев

Актуальность проблемы. Изучение множественных процессов весьма существенно для выяснения структуры адронов и выявления закономерностей их взаимодействий. В качестве адекватного метода изучения много-частичных состояний принят инклюзивный анализ.

Неотделимой частью такого рода исследований является изучение возбужденных адронных состояний - резонансов. В отличие от стабильных частиц, существенная доля которых является продуктами распадов резонансов, последние дают более непосредственную информацию о характеристиках множественного образования. Распады резонансов при этом позволяют определить их спиновые состояния, что существенно увеличивает информацию о механизме взаимодействий элементарных частиц - в определенной степени это эквивалентно использованию поляризованного пучка, или мишени, или же измерению поляризации вторичных нуклонов.

Особый интерес к антипротон-протонным взаимодействиям связан с возможностью изучения аннигиляционных процессов. В то время как мезон-нуклонные и нуклон-нуклонные взаимодействия изучены в широкой области энергий, к началу нашего эксперимента не было данных о множественном образовании частиц в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при энергиях > 10 ГэВ. С целью получения экспериментальной информации об $\bar{p}p$ -взаимодействиях при высоких энергиях в крупнейших ускорительных лабораториях мира 7-9 лет назад были созданы пучки антипротонов с импульсами 22,4 и 32 ГэВ/с (Серпухов) и 100 ГэВ/с (Батавия).

Цель работы состояла в получении основных характеристик мезонных и барионных резонансов, образующихся в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с.

Новизна работы заключается в получении первых экспериментальных данных о рождении мезонных и барионных резонансов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Обнаружена выстроенность спина φ^0 -мезона.

Научная ценность работы. Получен и проанализирован большой экспериментальный материал по $\bar{p}p$ -взаимодействиям при 22,4 ГэВ/с. Определен и сравнен с теоретическими моделями целый ряд характеристик образования мезонных и барионных резонансов. Обнаруженная выстроенность спина φ^0 -мезона с точки зрения ряда моделей множественного образования частиц представляется эффектом неожиданным. Установлена связь выстроенности спина φ^0 -мезона с аннигиляционными процессами. Результаты, полученные в диссертации, могут способствовать более глубокому пониманию природы адронных взаимодействий.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Практическая ценность работ состоит в следующем. Создано программное обеспечение системы диагностики пучка канала № 9 ускорителя ИФЭВ в Серпухове. Введенная в эксплуатацию система диагностики пучка позволяет эффективно настраивать оптику канала для получения пучков нужных частиц. Вся совокупность полученных в диссертации результатов можно использовать при планировании новых экспериментов.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении подчеркивается актуальность темы, отмечается полезность изучения характеристик резонансов и адекватность использования для этого камерной методики. Сформулированы основная цель исследований и положения, вынесенные на защиту.

В первой главе излагаются постановка эксперимента и методика обработки данных.

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой жидководородной камеры "Людмила", облученной в пучке сепарированных антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с. Приведены основные характеристики камеры, системы фотографирования, магнитного поля и канала № 9, обеспечивающего установку "Людмила" ВЧ-сепарированными пучками частиц.

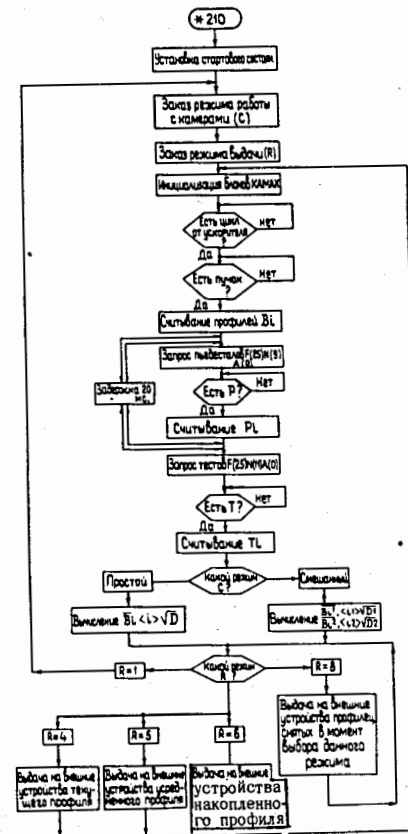
Описано созданное автором программное обеспечение расширенной системы диагностики пучка (РСД) канала № 9. Программа РСД предназначена для считывания информации о пучке с пропорциональных камер через крейт-контроллер КАМАК, дальнейшей ее обработки и выдачи профилей пучка и соответствующих его характеристик на внешние устройства (ВУ). Работой программы управляет монитор, блок-схема которого приведена на рис. 1. Необходимые команды программе после ее запуска оператор подает через телетайп. Программа РСД написана на языке *SLANG*, поставлена на ЭВМ ТРА-1001 и занимает память емкостью 8 К 12-разрядных слов.

Далее, в первой главе описана процедура обработки фоточувствительной информации и проведенное автором исследование влияния ошибок измерений на точность определения эффективных масс частиц.

Для получения физических результатов, вошедших в третью и четвертую главы диссертации, была сформирована лента суммарных результатов (ЛСР), содержащая около 45000 $\bar{p}p$ -событий.

Во второй главе обсуждаются некоторые характеристики множественного образования частиц, таких, как дифференциальные сечения, корреляция между средним поперечным импульсом частиц и фейнмановской переменной x и т.п. Приведены основные положения ряда моделей, предсказания которых анализируются на основе полученного экспериментального материала.

Рис. 1
Блок-схема монитора программы РСД



В третьей главе изучаются характеристики векторных мезонов, рождающихся в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с.

Обсуждаются методические вопросы выделения резонансов.

Сечения образования $\rho^0(770)$ - и $\omega(783)$ -резонансов определялись с помощью аппроксимации спектра эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -пар (см. рис. 2) формулой

$$\frac{d\sigma}{dm} = \sigma_{\rho} \cdot \frac{BW(m) \phi(m)}{I_{\rho}} + \sigma_{\omega} \cdot \frac{\phi(m)}{I_{\omega}} + \sigma_{\omega} R_{\omega}(m), \quad (1)$$

где $BW(m)$ - функция Брейта-Вигнера, $R_{\omega}(m)$ - функция, описывающая отражение распада $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в спектр эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -пар, $\phi(m)$ - функция, описывающая фон, σ_{ρ} и I_{ρ}

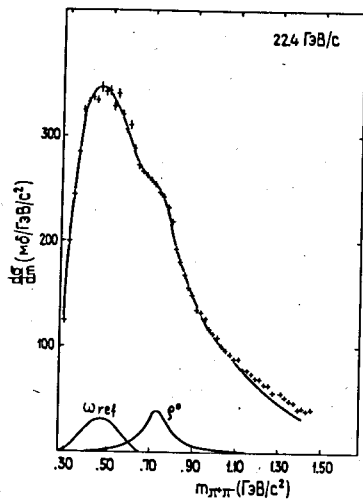


Рис. 2
Распределение по эффективной
массе $\pi^+\pi^-$ пар

соответствующие сечения и нормировочные интегралы. Сечение $K^{*\pm}$ (893) определялось аппроксимацией спектра эффективных масс $K_s^0 \pi^\pm$ - пар формулой, аналогичной (I).

Определены полные и топологические сечения ρ^0 - и ω -резонансов. (См. табл. I). Полные сечения ρ^0 - и ω -мезонов оказа-

Таблица I

n_{ch}	$\sigma(\rho^0)$ (мб)	$\sigma(\omega)$ (мб)	$\frac{3\sigma(\rho^0) + \sigma(\omega)}{\sigma_{\text{анн}}}$	$\frac{[2\sigma(\rho^0) + \sigma(\omega)]/\sigma_{\text{анн}}}{(\%)}$
2	0.25 ± 0.06	0.28 ± 0.09	0.11 ± 0.02	17 ± 3
4	1.38 ± 0.21	1.57 ± 0.34	0.39 ± 0.05	22 ± 3
6	3.16 ± 0.33	2.94 ± 0.54	1.26 ± 0.11	38 ± 4
8	2.07 ± 0.33	2.23 ± 0.55	1.91 ± 0.26	41 ± 5
10	1.49 ± 0.32	0.78 ± 0.57	3.08 ± 0.65	43 ± 10
Σ	8.34 ± 0.60	7.82 ± 1.02	0.85 ± 0.05	35 ± 2
полный фит	7.37 ± 0.60	7.04 ± 1.06	0.75 ± 0.05	31 ± 2

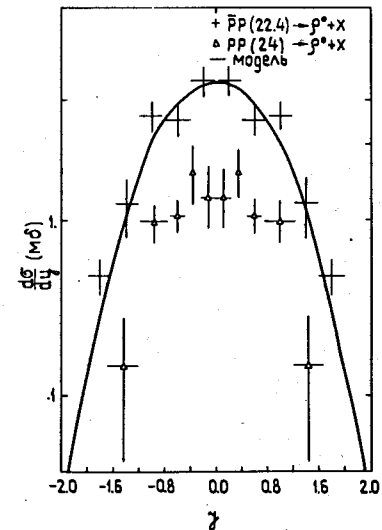
лись близкими в согласии с предсказанием простых кварковых моделей. Количественно они хорошо совпали с моделью слияния кварков; кварк-партоновая модель Монте-Карло (КММК) дает завышенные ($\sim 2,5$ раза) значения сечений. Сравнением с $p\bar{p}$ -данными при 24 ГэВ/с оценено сечение образования ρ^0 в аннигиляционном канале. Оно оказалось рав-

ным $\sigma_{\text{анн}}(\rho^0) = 3,9 \pm 0,7$ мб, что составляет $\sim 53\%$ от полного сечения образования ρ^0 -мезона. Оценено, что $\sim 30\%$ ($\sim 50\%$) от полного (аннигиляционного) сечения образования $\pi^+\pi^-$ -мезонов являются продуктами распада ρ - и ω -резонансов. Средняя множественность ρ^0 -мезонов в неупругом и аннигиляционном каналах составляет $\langle n(\rho^0) \rangle = 0,189 \pm 0,015$ и $\langle n(\rho^0) \rangle_{\text{анн}} = 0,486 \pm 0,089$ соответственно.

Пользуясь аналогичной методикой, как и при определении сечения образования ρ^0 -мезона, находим, что с 95% достоверностью сечение образования $f(1270)$ -мезона меньше, чем 2,2 мб.

Изучены дифференциальные характеристики ρ^0 -мезона. Дифференциальные сечения ρ^0 -мезона были получены аппроксимацией спектра эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -пар в определенных интервалах данной переменной. Зависимость сечения образования ρ^0 -мезона от продольной скорости (см. рис. 3) хорошо совпала с предсказанием модели слияния кварков. Показатель n степенного убывания инвариантного сечения

Рис. 3
Зависимость сечения образова-
ния ρ^0 -мезона от продольной
скорости



$E \frac{d\sigma}{dv} \sim (1 - |x|)^n$ в области $|x| > 0,3$ оказался равным $n = 2,22 \pm 0,28$, что согласуется с другими $p\bar{p}$ -данными. Зависимость сечения от квадрата поперечного импульса имеет экспоненциальный характер, среднее значение квадрата поперечного импульса оказалось равным $\langle p_\perp^2 \rangle_{\rho^0} = 0,376 \pm 0,049$ (ГэВ/с) 2 .

Определено полное сечение рождения $K^{*\pm}$ (893)-резонанса, равное $\sigma(K^{*\pm}) = 1,59 \pm 0,26$ мб; оценка аннигиляционного сечения составляет $\sigma(K^{*\pm})_{\text{анн}} = 0,74 \pm 0,27$ мб.

Показано, что с достоверностью 95% сечение образования ϕ -мезона меньше, чем 500 мкб. Эта величина не противоречит соотношению

$$\frac{\sigma(\phi)}{\sigma(K^{*\pm})} \approx \frac{\sigma(K^{*\pm})}{\sigma(\rho^0)} = \lambda = 0,215 \pm 0,039,$$

основанному на простых кварковых соображениях; λ — параметр подавления рождения странного кварка.

Изучение угловых распределений продуктов распада ρ^0 - (см. рис. 4) и ω -резонансов привело к обнаружению существенной не-изотропности распада этих резонансов. Элемент ρ_{00} спиновой матрицы

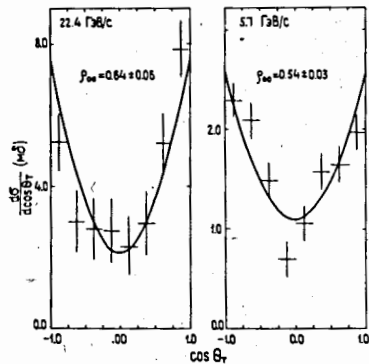


Рис. 4
Распределение по полярному углу вылета π^+ -мезона от распада ρ^0 -мезона в поперечной системе

плотности для ρ^0 -мезона в разных системах (в системе Джексона (J), Эдйра (A), в S-канальной спиральной (H) и поперечной (T) системах) определялся из аппроксимации соответствующих угловых распределений формулой

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} = \frac{1}{2} [1 + (1 - 3\rho_{00})(1 - 3\cos^2\theta)] \cdot \sigma, \quad (2)$$

а элемент ρ_{00} для ω -мезона в системе Эдйра — формулой, аналогичной (2) с заменой $\frac{1}{2}(1 - 3\rho_{00}) \rightarrow -\frac{1}{4}(1 - 3\rho_{00})$. Оказалось, что ρ^0 -мезон имеет большую вероятность ($\sim 0,6$) нулевой проекции спина на нормаль к плоскости его образования (см. рис. 5 и таблицу 2), а ω -мезон — большую вероятность ($\sim 0,7$) нулевой проекции спина на ось реакции. Этот результат подтвержден анализом ~ 35000 событий реакции $\bar{p}p \rightarrow 2\pi^+ 2\pi^-$ + нейтральные при 5,7 ГэВ/с, полученных на 2-м водородной камере ЦЕРНа. Сравнением с pp -данными при 24 ГэВ/с была установлена связь эффекта выстроенности спина ρ^0 -мезона с процессом $\bar{p}p$ -аннигиляции. Эффект выстроенности спина

Рис. 5
Распределение по эффективной массе $\rho\pi^+$ -пар

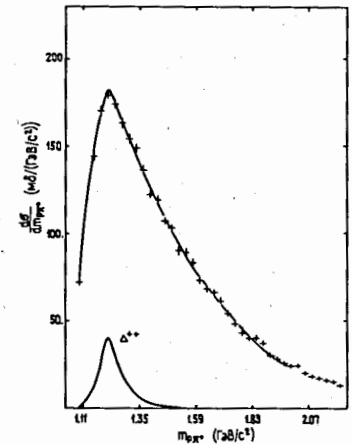


Таблица 2

Реакция (ГэВ/с) пучок	$\sigma(\rho^0)$ (мкб)	ρ_{00}			$\sigma(\omega)$ (мкб)	ρ_{00} A	
		T	J	A			
$\bar{p}p$	22.4	7.4 ± 0.6	0.64 ± 0.06	0.04 ± 0.06	0.23 ± 0.05	7.0 ± 1.1	0.77 ± 0.18
	5.7	3.1 ± 0.1	0.54 ± 0.03	0.16 ± 0.03	0.23 ± 0.03	3.0 ± 0.2	0.69 ± 0.11
pp	24.0	3.5 ± 0.4	0.34 ± 0.07	-	-	-	-
$\bar{p}p$ (22.4) - pp (24)		2.9 ± 0.7	0.91 ± 0.15	-	-	-	-

ρ^0 - и ω -мезонов обсуждается с точки зрения мультипериферической модели и модели спонтанной поляризации кварков. Указано на трудности описания этого эффекта в рамках этих моделей. В рамках мультипериферической модели можно понять различие спиновых характеристик ρ^0 - и ω -мезонов, однако трудно объяснить большую вероятность нулевой проекции спина ρ^0 -мезона на нормаль к плоскости его образования. В модели спонтанной радиационной поляризации кварков выстроенность спина ρ^0 -мезона объясняется естественным образом, как результат слияния спонтанно поляризовавшихся кварков в потенциале конфайнмента. Однако возникает трудность с объяснением выстроенности спина ω -мезона.

Четвертая глава посвящена изучению барионных резонансов, образующихся в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с.

Характеристики Δ^{++} (I232)-резонанса исследовались во всем фазовом объеме. Сечение образования Δ^0 (I232) определялось в кинематической области, где протоны от распада $\Delta^0 \rightarrow p\pi^-$ идентифицировались по ионизации. Сечения Δ^{++} -и Δ^0 -резонансов определялись аппроксимацией спектров эффективных масс $p\pi^+$ (см. рис. 5) и $p\pi^-$ -пар соответственно, формулой, аналогичной (I). Полные и топологические сечения Δ^{++} -резонанса приведены в табл. 3.

Таблица 3

n_{ch}	$\sigma(\Delta^{++})$ (мб)	$\sigma(\Delta^{++}, p-4q)$ (мб)	$\sigma(p)$ (мб)	$\sigma(p-4q)$ (мб)	$\frac{\sigma(\Delta^{++})}{\sigma(p)}$ (%)	$\frac{\sigma(\Delta^{++})}{\sigma_{исчл}}$
4	2.06 ± 0.12	1.61 ± 0.08	8.25 ± 0.12	4.97 ± 0.13	25 ± 2	0.16 ± 0.01
6	1.58 ± 0.19	0.78 ± 0.10	4.43 ± 0.09	1.66 ± 0.07	36 ± 4	0.25 ± 0.03
8	0.87 ± 0.21	0.14 ± 0.04	1.58 ± 0.03	0.30 ± 0.03	55 ± 13	0.40 ± 0.10
10	0.32 ± 0.19	0.02 ± 0.02	0.30 ± 0.03	0.05 ± 0.02	107 ± 64	0.78 ± 0.47
12	0.00 ± 0.15	-	-	-	-	-
Σ	4.83 ± 0.34	2.55 ± 0.13	-	-	-	-
≥ 4	5.09 ± 0.38	2.48 ± 0.13	14.56 ± 0.16	6.98 ± 0.15	35 ± 3	0.23 ± 0.02

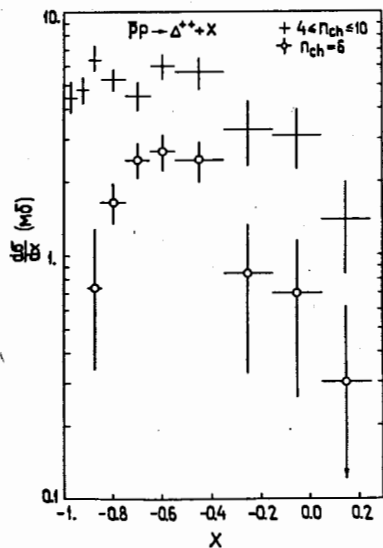


Рис. 6.
Зависимость сечения образования Δ^{++} -резонанса от переменной X

Изучены дифференциальные характеристики образования Δ^{++} -резонанса. Спектр $\frac{d^2\sigma}{dP_x^2}$ имеет экспоненциальный характер, средний квадрат поперечного импульса оказался равным

$$\langle p_x^2 \rangle_{\Delta^{++}} = 0,21 \pm 0,02 \text{ (ГэВ/с)}^2$$

Распределение $\frac{d^2\sigma}{dX^2}$ (см. рис. 6) указывает на заметный вклад центрального образования Δ^{++} -резонанса в нашей реакции.

Сечение Δ^0 -резонанса в области идентификации протона ($p_{\text{лаб}} \leq 1,5$ ГэВ/с) оказалось равным $\sigma(\Delta^0) = 1,01 \pm 0,24$ мб. Сравнение с сечением Δ^{++} -резонанса в той же кинематической области (см. таблицу 3), дает соотношение

$$\eta = \frac{\sigma(\Delta^{++}, p-4q)}{\sigma(\Delta^0)} = 2,45 \pm 0,60$$

Значение $\eta = 3$ вытекает из предположения об изовекторном обмене при образовании Δ -резонансов. В соответствии с этим предположением оценено, что $\sim 50\%$ протонов в нашей реакции образуется за счет распада Δ (I232)-изобар. КММК предсказывает на основании $SU(6)$ -спиновой статистики значение $\eta = 1/2$, что противоречит экспериментальным данным.

Исследование спиновых характеристик Δ^{++} -резонанса в области $-1,0 < X < -0,5$ показало, что значения элемента $\rho_{1/2, 1/2}$ спиновой матрицы плотности при малых $p_x \leq 0,3$ ГэВ/с хорошо объясняются моделью односпионного обмена с поглощением, а в области $p_x > 0,6$ ГэВ/с получено указание на возможный вклад ρ -обмена.

В заклучении сформулированы основные результаты работы:

1. Создано программное обеспечение системы диагностики пучка канала № 9 ускорителя ИФВЭ.

2. Впервые изучены основные инклюзивные характеристики мезонных резонансов, образующихся в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с:

а) Определены полные сечения образования ρ^0 (770)-, ω (783)- и K^{*0} (893)-мезонов; они составляют $\sigma(\rho^0) = 7,4 \pm 0,6$ мб, $\sigma(\omega) = 7,0 \pm 1,1$ мб и $\sigma(K^{*0}) = 1,59 \pm 0,26$ мб. Значения полных сечений ρ^0 - и ω -мезонов хорошо совпали с предсказанием модели слияния кварков.

б) Оценено сечение образования ρ^0 - и K^{*0} -мезонов в аннигиляционном канале; оценка составляет $\Gamma_{\text{анн}}(\rho^0) = 3,9 \pm 0,7$ мб и $\Gamma_{\text{анн}}(K^{*0}) = 0,74 \pm 0,27$ мб.

в) Оценены верхние границы сечения образования f (I270)- и ϕ (I020)-мезонов.

3. Изучены дифференциальные сечения ρ^0 -мезона. Обнаружено, что:

а) Спектры по продольным переменным достаточно хорошо описывают-

ся моделью слияния кварков, а также кварк-партоной моделью Монте-Карло.

б) Распределение $\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2}$ имеет экспоненциальный характер, средний квадрат поперечного импульса составляет

$$\langle p_{\perp}^2 \rangle_c = 0,38 \pm 0,05 \text{ (ГэВ/с)}^2.$$

4. Впервые в антибарион-барионных взаимодействиях изучены спиновые характеристики векторных мезонов. Обнаружена большая выстроенность спина ϱ^0 -мезона. В реакции $\bar{p}p \rightarrow \varrho^0 + X$ при 22,4 ГэВ/с элемент ϱ^0 спиновой матрицы плотности в поперечной системе составляет

$\varrho_{00}^T = 0,64 \pm 0,06$. Получено также указание на большую выстроенность спина ω -мезона. Эти результаты подтверждены анализом данных реакции $\bar{p}p \rightarrow 2\pi^+ 2\pi^-$ + нейтральные при 5,7 ГэВ/с.

5. Впервые в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с исследованы основные характеристики Δ^{++} (1232)- и Δ^0 (1232)-резонансов:

а) Определено инклюзивное сечение Δ^{++} -резонанса; оно составляет $\sigma(\Delta^{++}) = 5,1 \pm 0,4$ мб.

б) Изучены дифференциальные сечения образования Δ^{++} -резонанса.

в) Определено сечение образования Δ^0 -резонанса в области идентификации протона. Сравнение этой величины с сечением образования Δ^{++} -резонанса в той же кинематической области указывает на доминирующий вклад обмена с изотоп-спином $I=1$ в t -канале при образовании Δ -резонансов. Этот результат противоречит предсказаниям кварковых моделей, основанных на $SU(6)$ -спиновой статистике.

Результаты, представленные в диссертации, докладывались на международных конференциях в Будапеште (1977г.), Страссбурге (1978г.), Мэдисоне (1980г.), Лиссабоне (1981г.) и Париже (1982г.) и опубликованы в работах:

/1/ В.Врба и др. ОИЯИ, IO-IO919, Дубна, 1977.

/2/ В.В.Ватуныа, ..., V.Vrba et al. Nucl. Phys., 1978, B137, p. 29.

/3/ В.В.Ватуныа, ..., V.Vrba et al. Czech. J. Phys., 1981, B31, p.1353.

/4/ В.Врба. Труды международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий, с. 141, Дубна, 17-20 ноября 1981г.

/5/ В.В.Ватуныа, ..., V.Vrba et al. Nucl. Phys., 1979, B151, p.193.

/6/ В.В.Ватуныа, ..., V.Vrba, et al. JINR, E1-12297, Dubna, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 августа 1982 года.