ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ pp-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОБЛАСТИ "ДИБАРИОННЫХ" РЕЗОНАНСОВ

В.Г.Вовченко, Ю.М.Казаринов, А.Н.Прокофьев

Введение

Представлены результаты измерений энергетической зависимости поляризационных параметров в упругом протон-протонном рассеянии в области энергий протонов $550 \div 950$ МэВ и в реакции $\pi d \to pp$ при энергиях π-мезонов $350 \div 450$ МэВ, полученные в экспериментах, выполненных в коллаборации с Лаб. ядерных проблем ОИЯИ и Институтом экспериментальной ядерной физики Университета Карлсруэ (ФРГ).

Фундаментальная важность исследования нуклон-нуклонного взаимодействия не может вызывать сомнений уже вследствие того, что с этим процессом непосредственно связана значительная часть явлений как в физике элементарных частиц, так и в ядерной физике. Изучение упругого NN-рассеяния необходимо для понимания ядерных сил и, в частности, спиновых процессов, определяющих особенности взаимодействия, структуру нуклона и свойства простейших ядерных систем. Все это вполне оправдывает усилия, затраченные в продолжение почти 30 лет для теоретического и экспериментального изучения NN-взаимодействия. В последние 10 – 15 лет в этой области был достигнут заметный успех, который определялся подробными и последовательными исследованиями pp- и pn-взаимодействий и, в самое последнее время, изучением $p\overline{p}$-системы.

Все эти результаты были тесно связаны с техническим прогрессом лабораторных исследований и, в первую очередь, с развитием техники получения поляризованных пучков частиц и мишеней с высокой степенью поляризации, развитием физики и техники детекторов и методов обработки данных.

Методы анализа результатов также интенсивно развивались по двум основным направлениям, первым из которых было обоснование метода фазового анализа, устранение его неоднозначностей и создание алгоритма прямого восстановления амплитуды рассеяния. Дополнением к этому направлению, реально требующему проведения "полного опыта" или, по крайней мере, измерения достаточно большого числа независимых параметров при каждой энергии, и явилось другое направление, связанное с феноменологическим анализом поведения отдельных наблюдаемых, позволяющим выделить проявление особенностей (таких, например, как резонанс) в отдельных спиновых состояниях.

Развитие исследований NN-взаимодействия в 80-е годы несомненно стимулировалось поиском и изучением дибарионных резонансов, обсуждавшихся в большом количестве работ. Несмотря на некоторое охлаждение к этой проблеме, связанное в последнее время с отсутствием однозначного ответа на вопрос о природе наблюдаемых особенностей и смещением исследований в область больших энергий, где, как предполагается, можно ожидать проявления особенностей, обусловленных 6-кварковыми мешками, ее стимулирующее влияние не может не рассматриваться при обсуждении нуклон-нуклонного взаимодействия. Как и любая спектроскопическая особенность в физике сильных взаимодействий, сигнал, вызванный проявлением дибарионного резонанса или пороговыми явлениями, должен быть связан с определенными квантовыми состояниями системы. Эти состояния, в частности, определяют выбор таких условий эксперимента или методов анализа данных, которые должны быть наиболее благоприятны для выделения исследуемого канала взаимодействия. В свою очередь, такая постановка задачи приводит к необходимости изучения спин-зависящих параметров взаимодействия.

Уже первые эксперименты по исследованию NN-взаимодействия в чистых спиновых состояниях ($\Delta\sigma_L, \Delta\sigma_T$), так же как и анализ данных о реакции $pp \to d\pi$, указали на существование особенностей в энергетических зависимостях и подтвердили необходимость тщательного исследования нуклон-нуклонного взаимодействия в области энергий выше 500 МэВ в экспериментах, позволяющих выделить взаимодействие в отдельных спиновых состояних, особенно в случае pp-системы в $^1D_2, ^3F_3, ^1G_4$ состояниях. Совершенно очевидно, что поставленная задача могла быть решена лишь путем изучения энергетической зависимости спиновых параметров упругого нуклон-нуклонного рассеяния или реакций, содержащик NN-систему в начальном или конечном состояниях. Последнее существенно также и потому, что позволяло расширить область исследований, достижимых на синхроциклотроне ПИЯФ, в сторону больших энергий с помощью исследования реакции $\pi d \to pp$. Значение $\sqrt{s}$ равно 2.3 ГэВ для протонов с энергией 0.95 ГэВ, что соответствует максимальной энергии поляризованного протонного пучка в ПИЯФ, и $\sqrt{s} = 2.45$ ГэВ для π-мезонов с энергией 0.5 ГэВ, также достижимых в ПИЯФ. Важно заметить, что скудость экспериментальных данных не позволяла к моменту начала исследований даже надеяться на проведение сколько-нибудь надежного фазового анализа. Накопление данных для такого анализа являлось одной из основных целей при изучении поляризационных характеристик NN-взаимодействия в области промежуточных энергий.

В ходе исследований поведения поляризационных параметров нуклон-нуклонного взаимодействия на синхроциклотроне ПИЯФ были выполнены измерения анализирующей способности A_{00N0}, коэффициентов передачи поляризации K_{N00N}, деполяризации D_{N0N0} и спин-спиновой корреляции A_{00NN} в упругом pp-рассеянии при энергиях $550 \div 950$ МэВ и векторной анализирующей способности iT_{11} в реакции $\pi d \to pp$ при энергии π-мезонов $350 \div 450$ МэВ.

Постановка исследований

Для измерения указанных выше поляризационных (спин-зависящих) параметров сильного взаимодействия в ОФВЭ ПИЯФ были созданы пучок вторичных поляризованных протонов [1], получаемых при рассеянии первичного пучка протонов с энергией 1 ГэВ на бериллиевой мишени, и поляризованные протонная и дейтронная мишени [2]. Изменение энергии поляризованных протонов во вторичном пучке осуществлялось за счет их торможения в поглотителях. Было показано, что степень поляризации пучка сохраняется на уровне 30% во всем диапазоне энергий от 650 до 950 МэВ. Интенсивность пучка на мишени при этом изменялась от $2.4 \cdot 10^5$ до 10^7 с$^{-1}$. Знак поляризации пучка мог был инвертирован с помощью изменения угла рассеяния первичного протонного пучка на мишени-поляризаторе *МП* (рис.1а).

Поляризованные протонная и дейтронная мишени с замороженным спином были созданы на основе рефрижератора растворения ^{3}He в ^{4}He и работали при температуре порядка 50 мК в магнитном поле 25 кГс. Рабочими веществами мишени служили пропандиол или бутанол (для дейтронной мишени в дейтерированной форме) с добавкой иона V-валентного хрома. Объем мишени составлял около 10 см^3. Полученные значения поляризации мишени

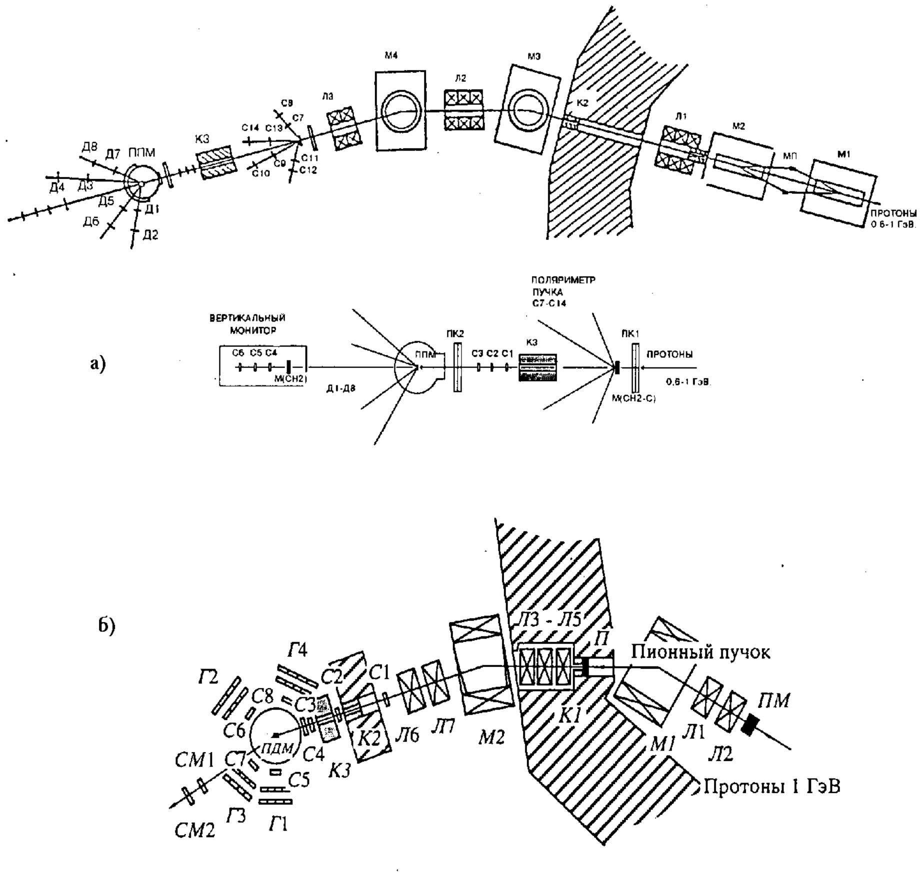

Рис.1а,б. Установки для исследования поляризационных параметров упругого pp-рассеяния (а) и реакции $\pi d \to pp$ (б).

Обозначения:

а) МП – мишень-поляризатор, ППМ – поляризованная протонная мишень, М(CH2) – полиэтиленовые мишени поляриметра и монитора, Л1-3 – линзы, К1-3 – коллиматоры, ПК1-2 – пропорциональные камеры, С1-14 – сцинтилляционные счетчики, Д1-8 – детекторы;

б) ПМ – пионообразующая мишень, ПДМ – поляризованная дейтронная мишень, Г1-4 – годоскопы сцинтилляционных счетчиков. Остальные обозначения аналогичны рис.1а.

достигали 85-95% для протонов и 45-50% для дейтронов. Поляризация мишени определялась с помощью измерений сигнала ядерного магнитного резонанса от образца мишени. Точность измерения составляла величину порядка 3%. Развитие методов измерения поляризации мишени (особенно дейтронной) и связанной с ними аппаратуры представляло отдельную методическую задачу, решение которой обеспечило успех всего цикла работ [2].

Расположение регистрирующей аппаратуры в измерениях на поляризованном протонном и π-мезонном пучках представлено на рис.1а и 1б, соответственно.

Выделение процесса упругого протон-протонного рассеяния при исследованиях в области промежуточных энергий традиционно связано с использованием жесткой кинематики процесса, учет которой с регистрацией обеих вылетающих частиц под кинематически сопряженными углами позволяет существенно снизить уровень фона и надежно выделить изучаемый процесс.

Схема установки, представленная на рис.1а, включает в себя элементы, связанные с формированием пучка поляризованных протонов (поворотные магниты М1, М2, бериллиевую мишень-поляризатор (МП), коллиматоры К1, К2, триплет квадрупольных линз Л1 – Л3) и поляриметр пучка С1 – С8, регистрирующий право-левую асимметрию при рассеянии протонов пучка на водородосодержащей мишени на угол 45° с.ц.м. Эти измерения позволяли определить степень поляризации пучка (с учетом точности мировых данных по анализирующей способности упругого pp-рассеяния) с точностью 0.005. Систематическая ошибка устранялась за счет измерений при реверсе направления вектора поляризации пучка. Сумма отсчетов правого и левого плеча поляриметра являлась одним из мониторных чисел. Далее пучок формировался коллиматором К3 и мониторировался счетчиками С1 – С3 , а также монитором С4 – С6, регистрировавшим частицы от рассеяния на мишени CH_2 в вертикальной плоскости. Профиль пучка на поляризованной мишени и его расходимость контролировались с помощью пропорциональных камер ПК1, ПК2.

Асимметрия в рассеянии на поляризованной мишени (ППМ) измерялась детекторами Д1 – Д8 под кинематически сопряженными углами. Эти детекторы видоизменялись в течение хода исследований и в зависимости от конкретной задачи. В качестве их использовались телескопы сцинтилляционных счетчиков, углеродные поляриметры на основе пропорциональных камер с кодированным съемом информации [3] и многоканальные годоскопы, состоявшие из пропорциональных камер с аналоговым считыванием и сцинтилляционных счетчиков [4]. В ходе методических исследований были разработаны и усовершенствованы системы аналогового [5] и кодированного [3] считывания данных с пропорциональных камер.

Установка для поляризационных измерений в реакции $\pi d \to pp$ на π-мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ представлена на Рис.1б [6]. Ее основным отличием от описанной выше являлась необходимость анализа и выделения канала $\pi d \to pp$ на фоне большого количества сопровождающих процессов (упругого рассеяния, рассеяния на ядрах и т.п.). Для решения этой задачи одновременно с использованием кинематических критериев, измерялось время пролета и потери энергии (dE/dx) продуктов реакции. Одновременно, для отделения протонной и π-мезонной компонент пучка время пролета налетающих частиц измерялось счетчиками С1 – С3 . В качестве детектора, измерявшего асимметрию рассеяния на поляризованной дейтронной мишени использовалась 4-плечевая установка, состоявшая из счетчиков С5 - С8 и годоскопов сцинтилляционных счетчиков Г1 – Г4 (2×4 счетчика в каждом плече).

Во всех экспериментах проводились измерения при всех возможных относительных ориентациях спинов пучка и мишени и независимые измерения на фоновых (не содержащих водорода или дейтерия) мишенях. Отдельно измерялся фон, связанный с реакциями на конструктивных элементах криостата и хладоагенте ^{3,4}He. Нормированные значения фона вычитались при обработке данных.

Результаты и обсуждение

Упругое pp-рассеяние

Измерения анализирующей способности в упругом протон-протонном рассеянии A_{00N0}, коэффициента спин-спиновой корреляции A_{00NN} [7 – 9] и коэффициента передачи поляризации K_{N00N} [3] были выполнены на синхроциклотроне ПИЯФ в диапазоне энергий $600 \div 1000$ МэВ и интервале углов от 30 до 100 градусов в системе центра масс. Результаты измерений представлены на рис.2. Эти данные явились первыми результатами измерений поляризационных параметров, полученными в области вблизи 1000 МэВ. В дальнейшем результаты были подтверждены данными измерений группы Ф.Легара на ускорителе "Сатурн" в Сакле, Франция. В исследуемой области энергий до настоящей работы были выполнены лишь измерения дифференциальных сечений и анализирующей способности в упругом pp-рассеяния, а также (в Аргоннской Нац. Лаб.) измерения разности сечений в чистых спиновых состояниях ($\Delta\sigma_L$, $\Delta\sigma_T$). Результатом этих измерений явилось указание на существования структуры в энергетической зависимости исследуемых наблюдаемых, которая могла быть связана с проявлением резонансных состояний в системе двух нуклонов. Предположительный спектр состояний и их спектроскопические характеристики приведены ниже (согласно обзору A.Yokosawa):

Резонанс	Энергия $\sqrt{s}$, ГэВ	Ширина Δ, МэВ	Состояние
B_1^2	2.14-2.18	50-100	$^1D_2$
B_1^2	2.18-2.22	100-200	$^3P_{0,1,2}$
B_1^2	2.20-2.26	100-200	$^3F_3$
B_1^2	2.43-2.50	150	$^1G_4$

Таким образом, область исследований вблизи 1 ГэВ представляла значительный интерес как с точки зрения последовательного изучения энергетического поведения фаз упругого pp-рассеяния, так и с точки зрения поиска особенностей в спин-зависящих характеристиках рассеяния, связанных с наличием резонансов. Естественно, что измерения лишь двух или трех спиновых параметров рассеяния не позволяют говорить о прямом восстановлении матрицы pp-рассеяния, содержащей 5 независимых комплексных амплитуд, однако наличие минимального набора данных позволяет определить модули амплитуд матрицы рассеяния. Согласно работе О.Г.Гребенюка и Г.М.Шкляревского, такой минимальный набор представляют следующие величины:

$$\sigma_t, \Delta\sigma_L, \Delta\sigma_T, I_{0000} = d\sigma/d\Omega, A_{00N0}, A_{00NN}, D_{NONO}, K_{N0N0}$$

Результаты измерений в ПИЯФ последних четырех из перечисленных выше параметров позволили провести фазовый анализ упругого pp-рассеяния при энергиях 850, 900 и 950 МэВ. Энергетическая зависимость $^1D_2$ и $^3F_3$ фаз в упругом pp-рассеянии представлена на диаграмме Аргана на рис.4 и характеризуется резонансно-подобным поведением,

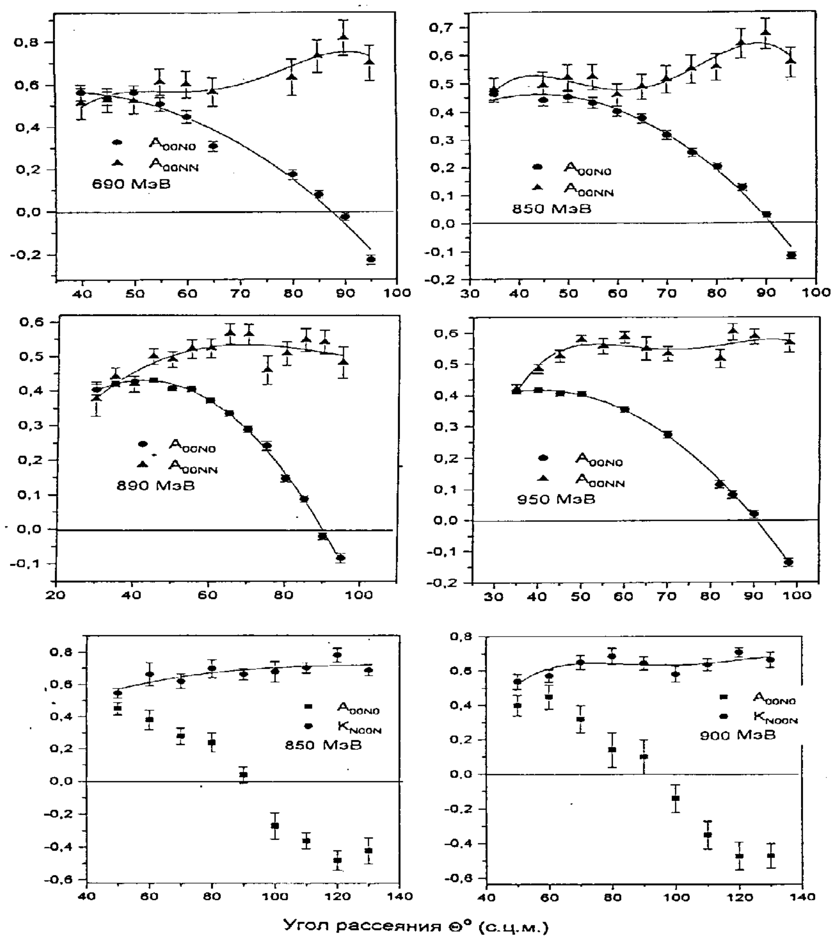

Рис.2. Поляризационные параметры: анализирующая способность A_{00N0}, коэффициент корреляции поляризаций A_{00NN} и коэффициент передачи поляризации K_{N00N} в упругом pp-рассеянии.

подтверждающим присутствие особенностей в этих волнах. Результаты фазового анализа позволили также отбросить решение, полученное в 1986 г. группой Сакле и указывавшее на резкий рост мнимой части фазы $^3F_3$ в области около 1 ГэВ. Полученные решения оказались достаточно устойчивыми при дальнейшем накоплении информации и, в основном, совпадают с результатами постоянно обновляющегося анализа VPI-95 группы Арндта (состояние на май 1996).

Другой возможностью анализа полученных результатов явилось рассмотрение поведения коэффициента корреляции поляризаций A_{00NN} в рассеянии на угол 90° в системе центра масс. Для рассеяния на этот угол могут быть выведены следующие отношения, позволяющие разделить вклады синглетных и триплетных состояний в упругое pp-рассеяние:

$$d\sigma/d\Omega(90^o) = 1/4|M_{ss}|^2 + 1/2|M_{01}|^2 + |M_{10}|^2, \tag{1}$$

$$d\sigma/d\Omega(90^o)[1 - A_{00NN}(90^o)] = 1/2|M_{ss}|^2, \tag{2}$$

а также

$$A_{00NN}(90^o) = \frac{d\sigma_t/d\Omega - d\sigma_s/d\Omega}{d\sigma_o/d\Omega}, \tag{3}$$

$$\alpha \equiv \frac{1 + A_{00NN}(90^o)}{1 - A_{00NN}(90^o)} = \frac{d\sigma_t/d\Omega}{d\sigma_s/d\Omega} \tag{4}$$

где: M_{ss}, M_{01}, M_{10} - матричные элементы рассеяния в синглетном и триплетных состояниях; $d\sigma_s/d\Omega$, $d\sigma_t/d\Omega$ - дифференциальные сечения рассеяния в синглетном и триплетном состояниях и $d\sigma_o/d\Omega \equiv d\sigma/d\Omega$.

Энергетическая зависимость коэффициента корреляции поляризаций A_{00NN} в области $550 - 970$ МэВ под углом 90°, полученная по измерениям ПИЯФ-ОИЯИ, представлена на рис.4 совместно со значениями, вычисленными по результатам фазового анализа VPI-95. Представленные кривые: сплошная – аппроксимация данных ПИЯФ, пунктирная – фазовый анализ. Зависимость демонстрирует слабо выраженный широкий максимум в области около 700 МэВ. Выделение квадрата матричного элемента рассеяния в синглетном состоянии, согласно (2), существенно меняет картину, демонстрируя резкий максимум при энергии $\simeq$ 450 МэВ, который может быть сопоставлен с взаимодействием в состоянии $^1D_2$ (рис.5). Результаты измерений ПИЯФ полностью определяют высокоэнергетическую границу максимума и подтверждены последующими измерениями и предсказаниями фазового анализа (кривая). Максимум в синглетном взаимодействии принято, в настоящее время, отождествлять с $N\Delta$-взаимодейстием в низшем состоянии.

Имеющиеся данные позволяют проанализировать также энергетическую зависимость отношения вкладов триплетного и синглетного рассеяния, согласно (4). Результаты представлены на рис.6, где в спектре проявляется максимум при энергии $\simeq$ 690 МэВ, который может быть сопоставлен с некоторым усилением взаимодействия в $^3P_{0,1,2}$-волне

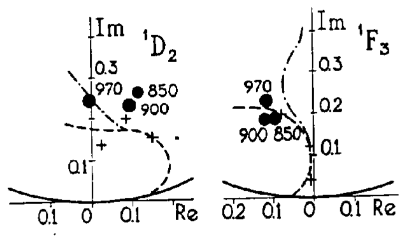

Рис.3. Диаграммы Аргана для парциальных волн $^1D_2$ и $^3F_3$ в упругом pp-рассеянии.

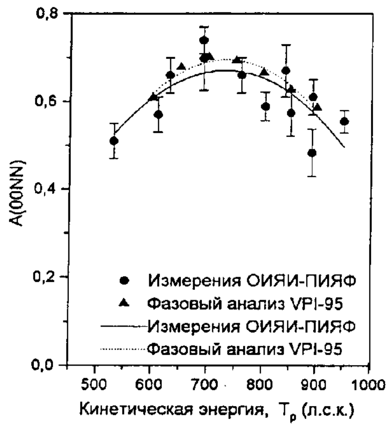

Рис.4. Энергетическая зависимость коэффициента A_{00NN} в pp-рассеянии на угол 90°. Точки и сплошная кривая – данные ПИЯФ, треугольники и пунктирная кривая – фазовый анализ VPI-95.

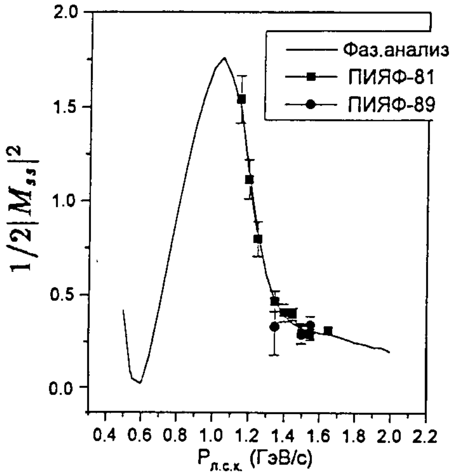

Рис.5. Импульсная зависимость квадрата матричного элемента pp-рассеяния в синглетном состоянии (область $^1D_2$ резонанса). Кривая – фазовый анализ VPI-95.

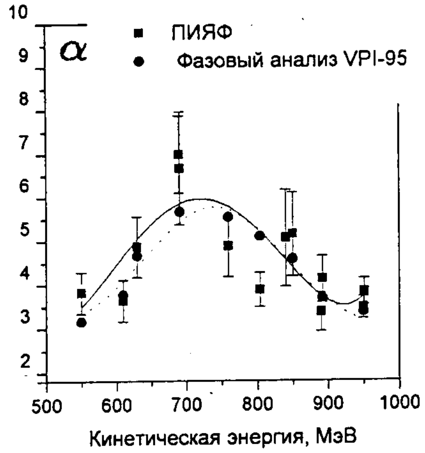

Рис.6. Отношения сечений рассеяния в триплетном состоянии к синглетному для упругого pp-рассеяния на 90°. Кривые: сплошная – данные ПИЯФ, пунктирная – фазовый анализ VPI-95.

в соответствии с ожидаемым согласно приведенной выше таблице. Делая это утверждение, авторы учитывают также плавное поведение матричного коэффициента M_{ss} в области выше 600 МэВ.

Суммируя результаты измерений поляризационных параметров упругого pp-рассеяния в ПИЯФ, следует отметить, что впервые были выполнены измерения ряда параметров при энергиях между 650 и 950 МэВ, проведен на основе минимального набора данных фазовый анализ рассеяния в этой области и получены свидетельства проявления резонансного взаимодействия, подтверждающие особенности в $^1D_2$, $^3P_{0,1,2}$ и $^3F_3$ состояниях.

Реакция $\pi d \to pp$ [6].

Исследования спиновых характеристик нуклон-нуклонного взаимодействия в области энергий выше 1 ГэВ не могло быть выполнено на синхроциклотроне ПИЯФ в прямом pp-канале. Такая возможность имелась в реакции $\pi d \to pp$, где при энергиях π-мезонов $\simeq 450 \div 500$ МэВ можно было достичь величин $\sqrt{s} \simeq 2.4$ ГэВ. Интерес к этой области был усугублен результатами измерений параметра A_{Y0} в инверсном канале $pp \to d\pi^+$, где в эксперименте R.Bertini в Сакле были обнаружены широкие структуры в энергетической зависимости при энергиях $\sqrt{s} = 2.41$ и 2.66 ГэВ. Свидетельства корреляции в ряде волн содержатся также и в результатах фазового анализа, выполненного для данной реакции И.Страковским и Р.Арндтом.

Результаты измерений векторной анализирующей способности iT_{11} в реакции $\pi d \to pp$ при энергиях 350, 400 и 450 МэВ представлены на рис.7,8. Результаты при 350 МэВ находятся в хорошем согласии с измерениями, выполненными при энергии 325 МэВ в PSI, что свидетельствует о корректности наших результатов. Данные при 400 МэВ и, особенно при 450 МэВ ($\sqrt{s} = 2.4$ ГэВ), указывают на резкий рост величины iT_{11} до значений, близких к ее теоретическому пределу. В отсутствие адекватного теоретического описания исследуемого процесса при энергиях выше 350 МэВ единственным путем их анализа оставалось сравнение с результатами амплитудного анализа, выполненного И.Страковским в ПИЯФ. Позднее наши данные были включены в анализ, выполненный в Вирджинском политехническом институте (R.Arndt и др.).

Результаты сравнения с указанными анализами, а также с результатами расчетов по исправленным формулам также представлены на рисунках. Для энергий 350 и 400 МэВ нам удалось достичь достаточно хорошего согласия расчетов и полученных данных. Результат, наблюдаемый при 450 МэВ, пока не удается описать в рамках стандартного рассмотрения без учета какого-либо резонансного вклада.

Представленные результаты являются единственными измерениями векторной анализирующей способности iT_{11} в реакции $\pi d \to pp$ при энергии 350 МэВ и выше. Они указывают на заметный рост величины iT_{11} в изучаемой области энергий и не находят пока однозначного объяснения.

Сравнение наших данных с результатами измерений дифференциальных сечений и анализирующей способности в инверсном канале $pp \to d\pi^+$ при энергии $\sqrt{s}$=2.4 ГэВ подтверждает факт проявления особенности, связанной, по-видимому, с поведением $^1G_4$ волны в pp-рассеянии. Природа этой особенности многократно обсуждалась с точки зрения как возможного существования дибарионных резонансов, так и пороговых явлений в спектре возбуждений $N\Delta$, где она может быть связана с состоянием $L_{N\Delta} = 2$.

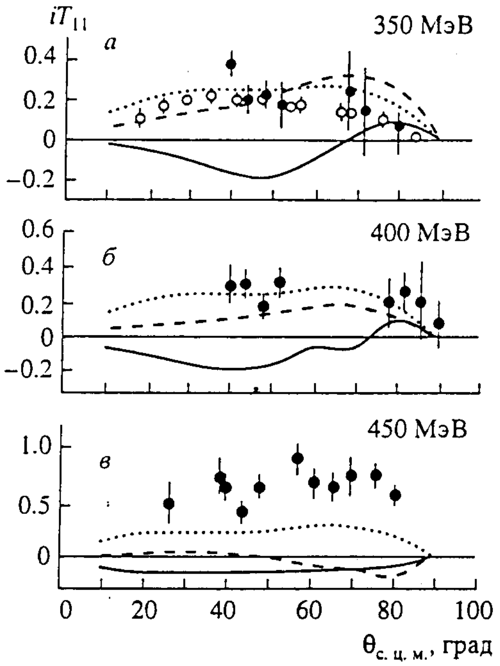

Рис.7. Векторная анализирующая способность iT_{11} в реакции $\pi d \to pp$ при энергиях T_π=350, 400 и 450 МэВ. Кривые: сплошная и штриховая – расчеты М.Рыскина, И.Страковского и др. (ПИЯФ), пунктир – фазовый анализ VPI-95.

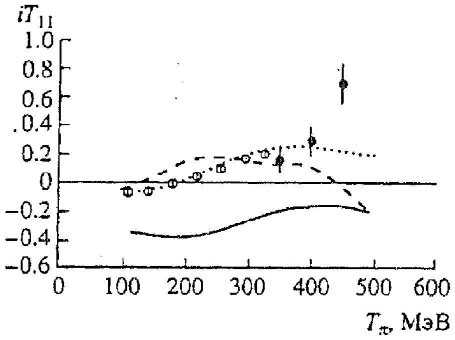

Рис.8. Энергетическая зависимость векторной анализирующей способности iT_{11} в реакции $\pi d \to pp$ под углом 50° в с.ц.м. Кривые: аналогично рис.7.

Таким образом, совокупность результатов, полученных в ПИЯФ при исследовании нуклон-нуклонного взаимодействия в области промежуточных энергий, составила заметную часть мировых данных в этой области и явилась основой для анализа pp-взаимодействия в упругом и неупругом каналах реакции. На базе этих данных был проведен фазовый анализ,позволивший уточнить имевшиеся ранее результаты. Полученные данные свидетельствуют о наличии особенностей, которые проявляются в энергетической зависимости поляризационных параметров изучемых элементарных процессов и могут быть связаны с $^1D_2$-, $^3P_{0,1,2}$-, $^3F_3$- и $^1G_4$-состояниями.

Список литературы

[1] *В.Г.Вовченко, А.А.Жданов, В.М.Железняков, Э.И.Малютенков, В.В.Поляков, В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев, О.Я.Федоров, А.В.Шведчиков*. Препринт ЛИЯФ-576, Л., 1980. 18с.

[2] *Yu.F.Kiselev, V.V.Polyakov, A.I.Kovalev, E.I.Bunyatova, N.S.Borisov,V.Yu.Trautman, K.Werner, N.G.Kozlenko*// Nucl.Instr.Meth., 1984. V.220. P.399.

[3] *В.Г.Вовченко, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, Ю.М.Казаринов, М.Ю.Мякушин, В.В.Поляков, В.Е.Попов, О.Я.Федоров*// Ядерная физика, 1989. Т.50. С.1005-1012.

[4] *Н.С.Борисов, В.Г.Вовченко, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, Ю.М.Казаринов, Ю.Ф.Киселев, А.И.Ковалев, В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев, В.Ю.Траутман, Ю.А.Усов, А.В.Шведчиков*. Препринт ЛИЯФ-1210, Л., 1986. 38с.

[5] *В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев*. Препринт ЛИЯФ-602, Л., 1980. 20с.

[6] *А.Н.Прокофьев, Н.А.Бажанов, В.Г.Вовченко, О.Г.Гребенюк, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, Ю.М.Казаринов, А.И.Ковалев, А.В.Кравцов, В.Ю.Траутман, О.Я.Федоров, А.В.Шведчиков, В.А.Щедров и др.*// Ядерная физика, 1995. Т.58. С.1740-1749.

[7] *Н.С.Борисов, В.Г.Вовченко, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, А.И.Ковалев, В.В.Поляков, В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев, В.Ю.Траутман, А.В.Шведчиков и др.*// ЖЭТФ, 1981. Т.81. С.1583-1596.

[8] *В.Г.Вовченко, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, Ю.М.Казаринов, Ю.Ф.Киселев, А.И.Ковалев, В.В.Поляков, В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев, В.Ю.Траутман, О.Я.Федоров, А.Н.Черников, А.В.Шведчиков*// Письма в ЖЭТФ, 1986. Т.44. С.119-122.

[9] *В.Г.Вовченко, В.А.Ефимовых, А.А.Жданов, Ю.М.Казаринов, А.И.Ковалев, В.В.Поляков, В.Е.Попов, А.Н.Прокофьев, В.Ю.Траутман, О.Я.Федоров, А.Н.Черников, А.В.Шведчиков*// Ядерная физика, 1989. Т.49. С.720-731.