

# 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  $\pi d \rightarrow pp$  при энергиях  $\pi$ -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  $p\bar{p}$ -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  $b$ -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.

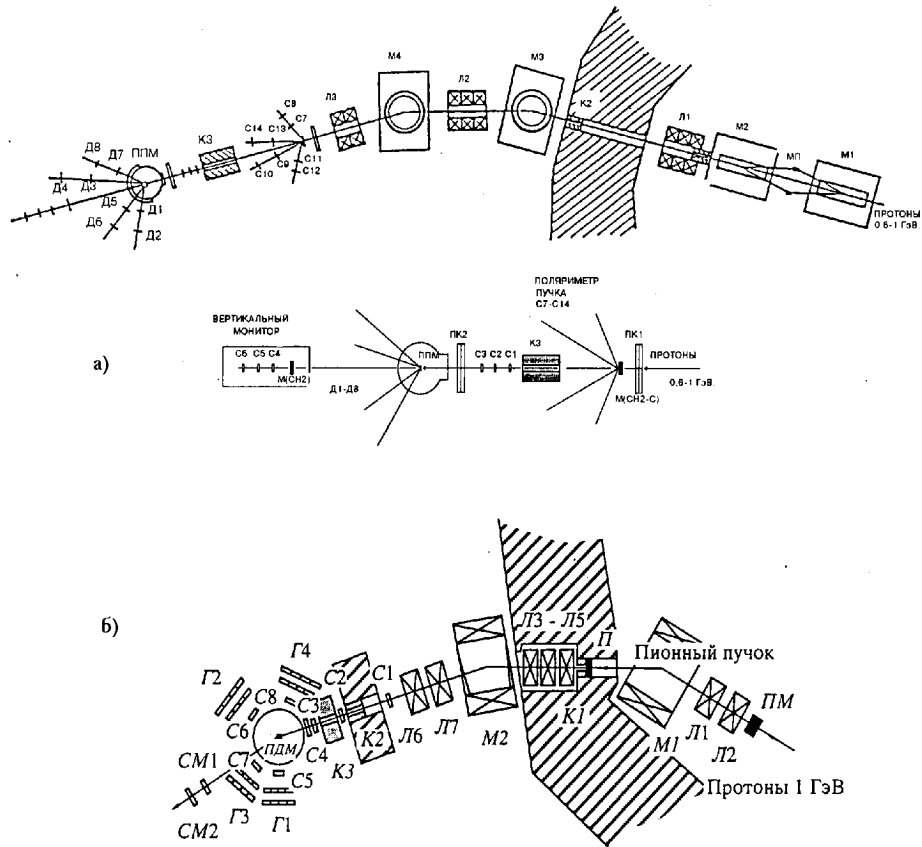
Уже первые эксперименты по исследованию  $NN$ -взаимодействия в чистых спиновых состояниях ( $\Delta\sigma_L, \Delta\sigma_T$ ), так же как и анализ данных о реакции  $pp \rightarrow d\pi$ , указали на существование особенностей в энергетических зависимостях и подтвердили необходимость тщательного исследования нуклон-нуклонного взаимодействия в области энергий выше 500 МэВ в экспериментах, позволяющих выделить взаимодействие в отдельных спиновых состояниях, 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, содержащих  $NN$ -систему в начальном или конечном состояниях. Последнее существенно также и потому, что позволяло расширить область исследований, достижимых на синхротроне ПИЯФ, в сторону больших энергий с помощью исследования реакции  $\pi d \rightarrow pp$ . 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  $\pi$ -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 синхротроне ПИЯФ были выполнены измерения анализирующей способности  $A_{00N_0}$ , коэффициентов передачи поляризации  $K_{N_00N}$ , деполяризации  $D_{N_0N_0}$  и спин-спиновой корреляции  $A_{00NN}$  в упругом  $pp$ -рассеянии при энергиях  $550 \div 950$  МэВ и векторной анализирующей способности  $iT_{11}$  в реакции  $\pi d \rightarrow pp$  при энергии  $\pi$ -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<sup>-1</sup>. Знак поляризации пучка мог быть инвертирован с помощью изменения угла рассеяния первичного протонного пучка на мишени-поляризаторе  $MP$  (рис.1а).

Поляризованные протонная и дейтронная мишени с замороженным спином были созданы на основе рефрижератора растворения  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$  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<sup>3</sup>. Полученные значения поляризации мишени



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

Обозначения:

а) МП – мишень-поляризатор, ППМ – поляризованная протонная мишень,  $M(CH_2)$  – 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  $\pi$ -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  $45^\circ$  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 мониторинговых чисел. Далее пучок формировался коллиматором К3 и мониторировался счетчиками С1 – С3, а также монитором С4 – С6, регистрировавшим частицы от рассеяния на мишени  $CN_2$  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  $\pi d \rightarrow pp$  на  $\pi$ -мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ представлена на Рис.1б [6]. Ее основным отличием от описанной выше являлась необходимость анализа и выделения канала  $\pi d \rightarrow pp$  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  $\pi$ -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 ( $2 \times 4$  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 хладагенте  $^{3,4}\text{He}$ . Нормированные значения фона вычитались при обработке данных.

## Результаты и обсуждение

### Упругое $pp$ -рассеяние

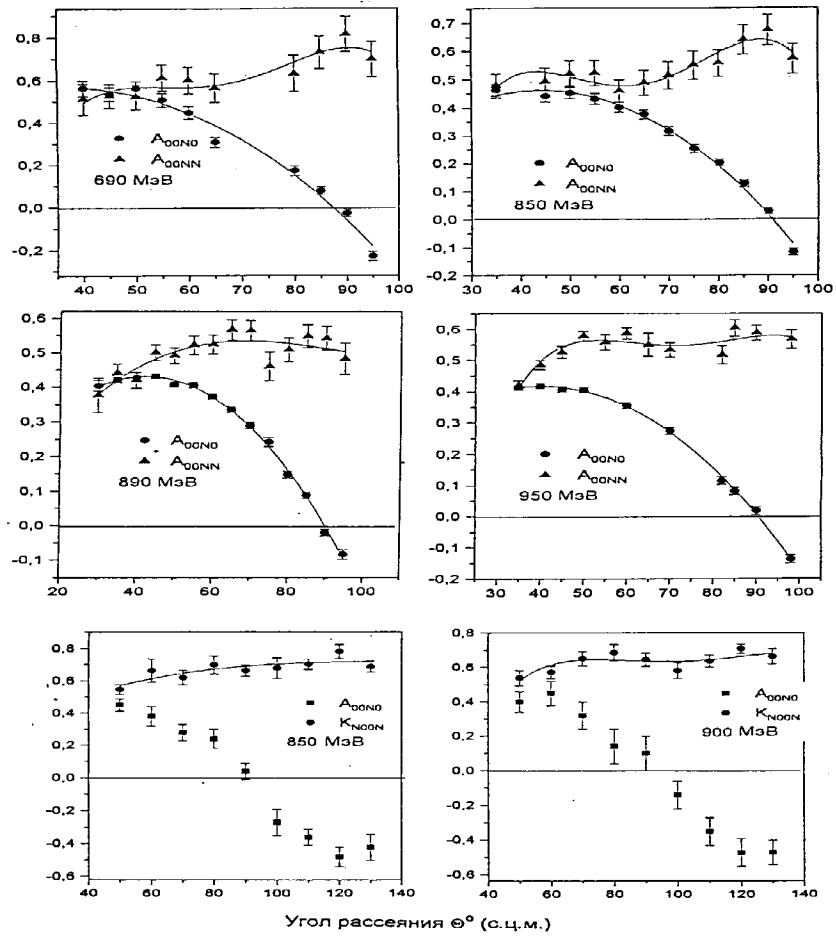
Измерения анализирующей способности в упругом протон-протонном рассеянии  $A_{00N0}$ , коэффициента спин-спиновой корреляции  $A_{00NN}$  [7 – 9] и коэффициента передачи поляризации  $K_{N00N}$  [3] были выполнены на синхроциклотроне ПИЯФ в диапазоне энергий  $600 \div 1000$  МэВ и интервале углов от 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  $pp$ -рассеянии, 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 А.Yokosawa):

Резонанс	Энергия $\sqrt{s}$ , ГэВ	Ширина $\Delta$ , 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:

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

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  $90^\circ$  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:

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

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

а также

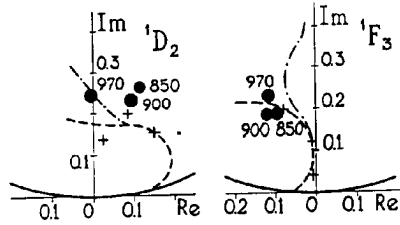
$$A_{00NN}(90^\circ) = \frac{d\sigma_t/d\Omega - d\sigma_s/d\Omega}{d\sigma_o/d\Omega}, \quad (3)$$

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

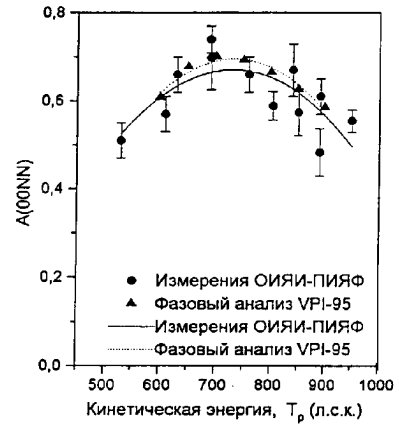
где:  $M_{ss}$ ,  $M_{01}$ ,  $M_{10}$  - матричные элементы рассеяния в синглетном и триплетных состояниях;  $d\sigma_s/d\Omega$ ,  $d\sigma_t/d\Omega$  - дифференциальные сечения рассеяния в синглетном и триплетном состояниях и  $d\sigma_o/d\Omega \equiv d\sigma/d\Omega$ .

Энергетическая зависимость коэффициента корреляции поляризаций  $A_{00NN}$  в области 550 – 970 МэВ под углом  $90^\circ$ , 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  $N\Delta$ -взаимодействием в низшем состоянии.

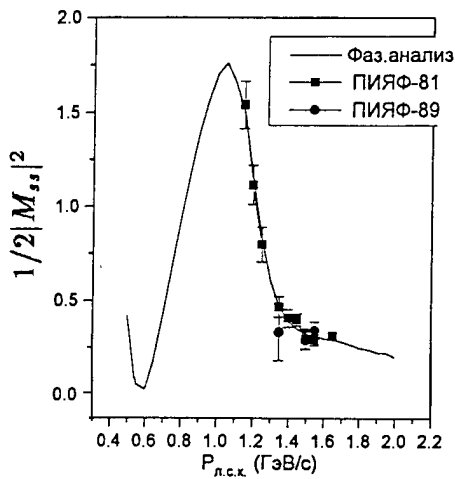
Имеющиеся данные позволяют проанализировать также энергетическую зависимость отношения вкладов триплетного и синглетного рассеяния, согласно (4). Результаты представлены на рис.6, где в спектре проявляется максимум при энергии  $\simeq 690$  МэВ, который может быть сопоставлен с некоторым усилением взаимодействия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



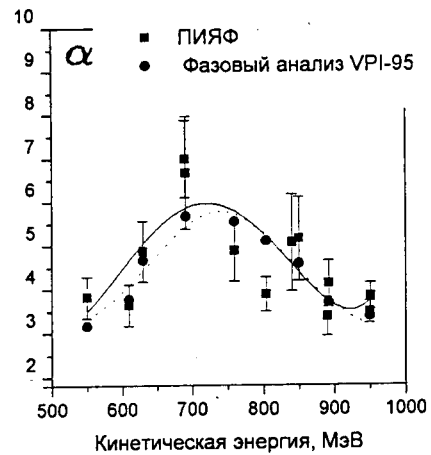
**Рис.3.** Диаграммы Аргана для парциальных волн  $^1D_2$  и  $^3F_3$  в упругом  $pp$ -рассеянии.



**Рис.4.** Энергетическая зависимость коэффициента  $A_{00NN}$  в  $pp$ -рассеянии на угол  $90^\circ$ . 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  $90^\circ$ . 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 $\pi d \rightarrow pp$ [6].

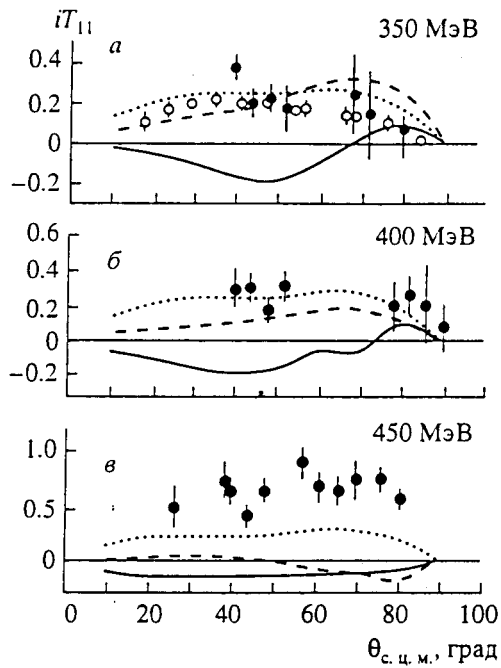
Исследования спиновых характеристик нуклон-нуклонного взаимодействия в области энергий выше 1 ГэВ не могло быть выполнено на синхроциклотроне ПИЯФ в прямом  $pp$ -канале. Такая возможность имела в реакции  $\pi d \rightarrow pp$ , где при энергиях  $\pi$ -мезонов  $\simeq 450 \div 500$  МэВ можно было достичь величин  $\sqrt{s} \simeq 2.4$  ГэВ. Интерес к этой области был усугублен результатами измерений параметра  $A_{Y0}$  в инверсном канале  $pp \rightarrow d\pi^+$ , 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  $\pi d \rightarrow pp$  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.).

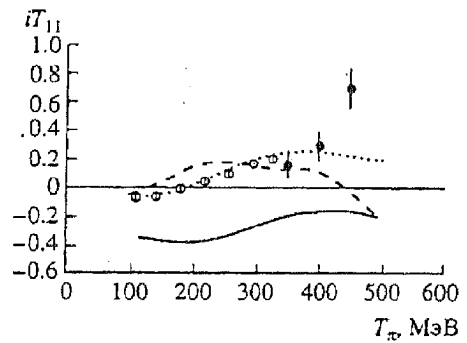
Результаты сравнения с указанными анализами, а также с результатами расчетов по исправленным формулам также представлены на рисунках. Для энергий 350 и 400 МэВ нам удалось достичь достаточно хорошего согласия расчетов и полученных данных. Результат, наблюдаемый при 450 МэВ, пока не удается описать в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

Представленные результаты являются единственными измерениями векторной анализирующей способности  $iT_{11}$  в реакции  $\pi d \rightarrow pp$  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  $pp \rightarrow d\pi^+$  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  $\pi d \rightarrow pp$  при энергиях  $T_\pi=350, 400$  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  $\pi d \rightarrow pp$  под углом  $50^\circ$  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 изучаемых 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.