

6
Г61



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Б.М.Головин, В.П. Джелепов, Р.Я. Зилькарнеев, Цуй Ва-чуан

Д - 1073

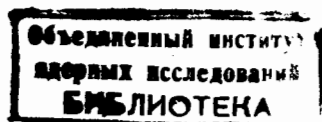
УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
КОРРЕЛЯЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИЙ S_{nn}
И ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ АМПЛИТУД
ДЛЯ РР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 640 МЭВ

ОЦЕНКА СИНГЛЕТНЫХ ФАЗ II
жЭТФ, 1963, т44, выи. 1, с 142-147.

Б.М.Головин, В.П. Джелепов, Р.Я. Зилькарнеев, Цуй Ва-чуан

Д - 1073

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
КОРРЕЛЯЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИЙ S_{np}
И ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ АМПЛИТУД
ДЛЯ PP -РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 640 МЭВ
ОЦЕНКА СИНГЛЕТНЫХ ФАЗ II



Дубна 1982 год.

Описана постановка опытов по тройному рассеянию протонов и приводятся результаты измерения коэффициентов спиновой корреляции C_{nn} при упругом рассеянии протонов с энергией 640 Мэв протонами для ряда углов с.д.м., отличных от 90° .

На основе анализа полученного и имеющегося в литературе для данной энергии опытного материала восстановлены количественно в широком интервале углов $50^\circ < \theta < 180^\circ$ модули амплитуд pp -рассеяния и даны их относительные вклады. Определены также значения синглетного и триплетного сечений для некоторых углов; произведена оценка фазовых сдвигов для pp -системы при данной энергии в синглетных состояниях.

1. Введение

Настоящая работа является одним из исследований набора опытов, выполняемого на синхротронной установке ОИЯИ в соответствии с намеченной программой полного опыта по pp и pp -рассеянию^{1,2/} для восстановления матрицы нуклон-нуклонного рассеяния при энергии 640 Мэв. В то же время она представляет вторую часть проводящейся нами работы по измерению при указанной энергии корреляции нормальных поляризаций /параметр C_{nn} / в pp -рассеянии.

В первой части этого исследования значение C_{nn} было найдено для угла 90° с.д.м.^{3/}; в данной работе этот параметр определен для углов 54° и 72° и соответственно для дополнительных к ним 126° и 108° .

Являясь к настоящему времени экспериментом, в известном смысле завершающим определенный этап программы опытов по pp -рассеянию при 640 Мэв, опыт по измерению C_{nn} вместе с другими данными позволяет, как будет видно из дальнейшего, уже сейчас, не прибегая еще к фазовому анализу данных, получить значительную новую информацию о pp -рассеянии при указанной энергии. В то же время, так как каждое из значений C_{nn} , приближенно говоря, дает независимое соотношение между фазовыми сдвигами волн, участвующих в рассеянии, то в будущем при проведении фазового анализа всей совокупности данных о pp -рассеянии данные о параметре C_{nn} могут дать ценные сведения о фазах рассеяния, а также явиться критерием для выбора наиболее вероятного решения.

2. Постановка эксперимента

Схема установки для измерения параметра C_{nn} приведена на рис.1. Неполаризованный пучок протонов с энергией 640 Мэв, сформированный квадрупольной линзой и двумя коллиматорами / ϕ 20 мм/, падал на первую мишень / H_2 /-цилиндрический сосуд с жидким водородом. Плотность потока протонов в месте расположения мишени обычно составляла $3 \pm 3,5 / \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$; при этом, как показали контрольные опыты, проводившиеся в процессе подготовки каждой серии измерений, пучок в месте падения на мишень был достаточно однороден.

Протоны, упруго рассеянные на первой мишени, проходили коллимирующие щели в локальной защите, регистрировались счётчиками I_L и I_R и после рассеяния на мишенях - анализаторах T_L и T_R детектировались группами счётчиков $2_L 3_L 4_L$ и $2_R 3_R 4_R$. Геометрия вторых рассеяний, материал и толщины рассеивателей T_L и T_R указаны в таблице 1.

Таблица 1

$\theta_{с.п.м.}^{\circ}$	Пороговые энергии телескопов /Мэв/		Материал и толщина вторых рассеивателей в г /см ²		Углы второго рассеяния	
	E_L	E_R	T_L	T_R	θ_L°	θ_R°
54 ± 3	270	140	Al 38	C; 8,0	$10 \pm 2,5$	$14 \pm 2,5$
72 ± 3	390	130	C 21	C, 8,0	$11 \pm 2,5$	$14 \pm 2,5$

Использованное в настоящей работе перекрестное включение счётчиков I_R и I_L с телескопами $2_L 3_L 4_L$ и $2_R 3_R 4_R$, как это показано на рис. 1, позволяло более эффективно, чем при включении, применявшемся нами ранее^{/3/}, выделять случаи упругого pp -рассеяния на фоне интенсивных процессов неупругого рассеяния. Параметры схем совпадений CC_L , CC_R и CC_s остались, в основном, прежними.

3. Калибровочный опыт

При упругом рассеянии протонов протонам с энергией 640 Мэв оба протона имеют довольно высокое значение поляризации. Это обстоятельство было использовано для калибровки анализирующих способностей мишеней T_L и T_R , проводившейся одновременно с измерениями корреляционной асимметрии. Анализирующие способности P_L и P_R мишеней T_L и T_R второго рассеяния определялись обычным методом наблюдения право-левой асимметрии во вторых рассеяниях. При вычислениях величин P_L и P_R использовались данные по поляризации в pp -рассеянии, полученные в работе^{/4/}. Найденные значения P_L и P_R приведены в таблице 3.

4. Корреляционная асимметрия и коэффициент C_{pp}

Величина корреляционной асимметрии находилась по известной формуле

$$\epsilon' = \frac{N_{LL} + N_{RR} - N_{LR} - N_{RL}}{N_{LL} + N_{RR} + N_{LR} + N_{RL}},$$

где N_{LL} , N_{RR} и т.д. - исправленные на фон скорости счёта схемы-совпадений CC_s , при соответствующих положениях телескопов, измеряющих скорости счёта во вторых рассеяниях. Фон установки при измерениях величин N_{LL} , N_{RR} и т.д. определяется аналогично тому, как это делалось в нашей предыдущей работе^{/3/}. При этом поправка

на случайные совпадения в схеме CC_3 , измерялась при включении линии задержки в один из её каналов. Случайные совпадения в схеме CC_3 , при введении задержки в каналы I_L или I_R были пренебрежимо малы и при вычислениях не учитывались^{х/}. Определенный таким путём суммарный фон при измерениях величин N_{LL} , N_{RR} , ... под разными углами колебался в пределах 15-30% от полной скорости счёта схемы CC_3 .

Для определения истинных корреляционных асимметрий ϵ в экспериментально найденные значения ϵ^1 вносились небольшие поправки на ложные корреляции $\epsilon_{\text{ложн.}}$, обусловленные геометрией установки. Величины ложной корреляционной асимметрии для различных углов приведены в таблице 2.

Таблица 2

θ° с.ц.м.	54	72	90
$\epsilon(\theta)_{\text{ложн.}}$	$-0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,004$

В таблице 3 приведены значения корреляционной асимметрии $\epsilon(\theta) = \epsilon^1(\theta) - \epsilon(\theta)_{\text{ложн.}}$ и величины коэффициента $C_{\text{пп}}(\theta)$, вычисленные по формуле $C_{\text{пп}} = \frac{\epsilon}{P_L P_R}$. Там же дано значение $C_{\text{пп}}$ для угла θ с.ц.м. = 90° , найденное нами ранее. Приведенные в таблице величины $C_{\text{пп}} / 128^\circ$ и $C_{\text{пп}} / 108^\circ$ приняты равными $C_{\text{пп}} / 54^\circ$ и $C_{\text{пп}} / 72^\circ$, соответственно, вследствие свойств симметрии параметра $C_{\text{пп}}(\theta)$ ^{1/} в pp -рассеяний.

Таблица 3

θ° с.ц.м.	$C_{\text{пп}}(\theta)$	$\epsilon(\theta)$	$P_L(\theta)$	$P_R(\theta)$
54	$0,57 \pm 0,14$	$0,15 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,03$	$0,68 \pm 0,06$
72	$0,65 \pm 0,15$	$0,22 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,07$	$0,62 \pm 0,07$
90	$0,93 \pm 0,21$ ^{3/}	$0,26 \pm 0,04$	$0,51 \pm 0,06$	$0,54 \pm 0,06$
106	$0,65 \pm 0,15$			
126	$0,57 \pm 0,14$			

5. Обсуждение результатов

В связи с завершением измерений угловой зависимости параметра $C_{\text{пп}}$, доступными для анализа оказываются данные уже значительного количества независимых экспериментов по pp -рассеянию, выполненных при энергии протонов 640 Мэв: $\sigma(\theta)$ ^{5/}, $C_{\text{пп}} P(\theta)$ ^{4/}, $\Gamma(\theta)$, $K(\theta)$ ^{6/}, $C_{\text{кр}} 90^\circ$ ^{7/}, $R(\theta)$ ^{8/} и др. Это обстоятельство, а также определенный успех, достигнутый в работах Казаринова и Силина^{9/}, осуществивших фазовый

^{х/} При измерениях фона случайных совпадений длины вводимых линий задержки импульсов выбирались, исходя из известной временной структуры выведенного из ускорителя пучка протонов.

анализ данных по нуклон-нуклонному рассеянию в области энергий ниже порога мезоно-образования, позволили начать осуществление фазового анализа всей совокупности опытных данных при 640 Мэв /Зулькарнеев, Лапидус, Силян/.

Однако, на данной стадии опытов на основе обработки имеющегося материала и до проведения фазового анализа удается уже определенным образом продвинуться вперед и приступить к непосредственному восстановлению элементов матрицы рассеяния при указанной энергии. Ниже излагаются результаты проведенного анализа данных.

1. Определение значений квадратов модулей амплитуд pp -рассеяния

В представлении Оме^{10/} амплитуда упругого pp -рассеяния записывается в виде:

$$M = \frac{1}{2} \{ (a+b) + (a-b) \vec{\sigma}_1 \vec{n} \vec{\sigma}_2 \vec{n} + e (\vec{\sigma}_1 + \vec{\sigma}_2) \vec{n} + (c+d) \vec{\sigma}_1 \vec{m} \vec{\sigma}_2 \vec{m} + (c-d) \vec{\sigma}_1 \vec{l} \vec{\sigma}_2 \vec{l} \}. \quad (1)$$

При такой записи M измеряемые на опыте величины сечения упругого pp -рассеяния и параметров Вольфенштейна C_{nn} , D и т.д. описываются следующими выражениями^{11/}:

$$\sigma(\theta) = \frac{1}{2} (|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 + |e|^2); \quad P(\theta^1) = \frac{Reae^*}{\sigma(\theta)};$$

$$C_{nn} = \frac{1}{2\sigma(\theta)} (|a|^2 - |b|^2 - |c|^2 + |d|^2 + |e|^2);$$

$$D(\theta) = \frac{1}{2\sigma(\theta)} (|a|^2 + |b|^2 - |c|^2 - |d|^2 + |e|^2);$$

$$K(\theta) = \frac{1}{2\sigma(\theta)} (|a|^2 - |b|^2 + |c|^2 - |d|^2 + |e|^2).$$

Совместное решение этой системы уравнений с использованием опытных данных и указанных ранее работ позволило вычислить квадраты модулей амплитуд pp -рассеяния и найти их относительные вклады в сечение при различных углах. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

$\theta^{\text{с.п.м.}}$	$\frac{ a ^2 + e ^2}{2\sigma(\theta)}$	$\frac{ b ^2}{2\sigma(\theta)}$	$\frac{ c ^2}{2\sigma(\theta)}$	$\frac{ d ^2}{2\sigma(\theta)}$	$\frac{ a-e ^2}{2\sigma(\theta)}$
54	0,78 ± 0,08	0,21 ± 0,08	0,00 ± 0,08	0,00 ± 0,08	0,42 ± 0,08
72	0,86 ± 0,07	0,19 ± 0,07	-0,02 ± 0,07	0,17 ± 0,07	0,53 ± 0,07
90	0,95 ± 0,08	0,02 ± 0,05	0,02 ± 0,05	0,02 ± 0,08	0,95 ± 0,08
108	0,86 ± 0,07	-0,02 ± 0,09	0,19 ± 0,09	0,17 ± 0,07	0,79 ± 0,07
126	0,78 ± 0,08	0,00 ± 0,07	0,21 ± 0,07	0,00 ± 0,08	1,14 ± 0,08

Можно видеть, что сильно преобладающий вклад в сечение pp -рассеяния во всем рассматриваемом интервале углов дают члены $|a|^2 + |b|^2$, где e - член, ответственный за спин-орбитальное взаимодействие. При этом для угла 90° вклад члена e особенно велик /порядка 90% ; это ранее уже отмечалось^{12/}/. Вклад членов $|d|^2$ практически

на всех углах, а $|c|^2$ на углах $\theta \leq 90^\circ$, мал. Это приводит к тому, что для углов $90^\circ \geq \theta \geq 50^\circ$ амплитуда рр-рассеяния /1/ приближенно может быть определена лишь тремя первыми членами, что в дальнейшем может упростить анализ.

2. Определение модулей матричных элементов. Имеющиеся опытные данные позволяют также найти для некоторых углов рассеяния модули матричных элементов $|M_{ss}(\theta)|$ матрицы рассеяния /представление Стаппа/ и при энергии 640 Мэв определить сечения синглетного рр-рассеяния $\sigma_s(\theta) = \frac{1}{4} |M_{ss}(\theta)|^2$. Для угла 90° это сечение непосредственно определяется также из соотношения $\sigma_s(90^\circ) = \frac{1 - C_{nn}(90^\circ)}{2} \sigma_{pp}(90^\circ)$ и составляет $\sigma_s / 90^\circ / = 0,07 \pm 0,2 / 10^{-27} \text{ см}^2$, так как согласно нашим данным /таблица 3/ $C_{nn} / 90^\circ / = 0,93 \pm 0,21$, а $\sigma_{pp} / 90^\circ / = 2,1 \pm 0,2 / 10^{-27} \text{ см}^2$ /5/. Сечение в триplete $\sigma_{tr}(90^\circ) = \sigma_{pp}(90^\circ) - \sigma_s(90^\circ) = (2,0 \pm 0,3) 10^{-27}$.

Заметим, что недавно при анализе опытных данных по рр-рассеянию, включающих измерения параметра $R / 90^\circ /$, для $|M_{ss} / 90^\circ /$ при 640 Мэв, была получена величина $0,24 \pm 0,11 / 10^{-13} \text{ см}^8 /$. Это приводит к сечению $\sigma_s / 90^\circ / = 0,14 \pm 0,13 / 10^{-27} \text{ см}^2$, в пределах погрешностей, согласующемуся с найденным непосредственно по $C_{nn} / 90^\circ /$.

Так как согласно опыту /6/ параметр деполяризации D для угла 54° близок к единице / $D / 54^\circ / = 0,99 \pm 0,25 /$, то полагая в выражении Стаппа /11/ для C_{nn} и D через матричные элементы $D / 54^\circ / = 1$ получаем возможность оценить величину синглетного матричного элемента для этого угла. В этих условиях получаем:

$$|M_{ss}(54^\circ)|^2 = \{1 - C_{nn}(54^\circ)\} \cdot \sigma_{pp}(54^\circ).$$

Отсюда, используя определенное нами значение $C_{nn} / 54^\circ /$, находим

$$|M_{ss} / 54^\circ / = 0,40 \pm 0,07 / 10^{-13} \text{ см}.$$

Это дает сечение в синглете $\sigma_s / 54^\circ / = 0,4 \pm 0,14 / 10^{-27} \text{ см}^2$. Сечение рр-рассеяния в триплетных состояниях для этого угла составляет $\sigma_{tr} / 54^\circ / = 3,3 \pm 0,2 / 10^{-27} \text{ см}^2$ /так как $\sigma_{pp} / 54^\circ / = 3,7 \pm 0,2 / 10^{-27} \text{ см}^2$ /5/. Заслуживает быть отмеченным факт существенного возрастания вклада синглетного рассеяния в полное сечение рассеяния под данным углом, наблюдаемого при уменьшении угла рассеяния от 90° к 54° .

3. Оценка синглетных фаз. Далее мы попытались оценить фазы синглетного рр-рассеяния при энергии 640 Мэв. Это было сделано в предположении, что вклад парциальных волн с $l \geq 4$ может быть вычислен в одномезонном приближении. При этих расчетах фазы $'S_0$, $'G_4$ и т.д. принимались вещественными, а модуль S -матрицы для $l = 2$ был взят из теоретической работы Сороко /12/, выполненной ранее в нашей Лаборатории и

посвященной обработке данных, полученных при изучении реакций $p + p \begin{cases} \rightarrow \pi^+ + d \\ \rightarrow \pi^+ + n + p \\ \rightarrow \pi^0 + p + p \end{cases}$ на поляризованном и неполяризованном пучках протонов. Численные значения вещественных частей фазовых сдвигов волн $'S_0$ и $'D_2$ в обозначениях работы /9/, определенные на основании приведенных выше величин $|M_{ss}(\theta)|^2$ для углов 54° и 90° , даны в таблице 5^{x/}. Для иллюстрации изменения этих фаз с энергией в той же таблице приводятся их значения при энергиях, меньших порога мезообразования /набор 1 из работы /9/.

Более подробное описание методики расчета указанных фазовых сдвигов будет дано в особой статье, посвященной попытке проведения фазового анализа всей совокупности имеющихся опытных данных для рр-рассеяния при 640 Мэв.

Таблица 5

Сос- то- яние	Энергия в Мэв						
	40	90	147	210	310	640	
						а-решен.	б-решен.
$'S_0$	$44,5^\circ \pm 1,9^\circ$	$29,2^\circ \pm 1,6^\circ$	$16,80^\circ \pm 0,63^\circ$	$4,52^\circ \pm 0,50^\circ$	$-7^\circ \pm 1,8^\circ$	$-30^\circ \pm 7^\circ$	$40^\circ \pm 6,5^\circ$
$'D_2$	$1,48^\circ \pm 0,18^\circ$	$1,12^\circ \pm 1,98^\circ$	$7,07^\circ \pm 0,23^\circ$	$7,14^\circ \pm 0,19^\circ$	$11^\circ \pm 0,6^\circ$	$7,5^\circ \pm 5^\circ$	$7,5^\circ \pm 5^\circ$

В заключение отметим, что найденное нами экспериментально значение параметра $C_{\text{пл}}/72^\circ$ не согласуется с расчётной оценкой его величины, данной в работе ^{/8/}. Это, по-видимому, указывает на недостаточную обоснованность предположений, сделанных авторами указанной работы при вычислении параметра $C_{\text{пл}}$.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность Н.И.Солнцеву за помощь при проведении измерений.

Литература

1. Л.Пузиков, Р.Рындин, Я.Смородинский, ЖЭТФ, 32, 592, 1957 ;
2. Б.Головин, В.Джелепов, В.Надеждин, В.Сатаров, ЖЭТФ, 36, 433, 1959.
3. Б.М.Головин, В.П.Джелепов, Р.Я.Зулькарнеев, ЖЭТФ, 41, 83, 1961.
4. М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов, ЖЭТФ, 33, 37, 1957.
5. Н.П.Богачёв, И.К.Взоров, ДАН, 99, 931, 1954.
6. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов, ЖЭТФ, 38, 1451, 1960.
7. В.И.Никаноров, Г.Петер, А.Ф.Писарев, Х.Поде, Препринт ОИЯИ, Р-863, Дубна 3/1961/; ЖЭТФ /в печати/.
8. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов, ЖЭТФ /в печати/.
9. Ю.М.Казаринов, И.Н.Силин, препринт ОИЯИ Р-970, 1962; ЖЭТФ /в печати/.
10. R. Oehme, Phys. Rev. 98, 147 (1955).
11. H. Stapp, Phys. Rev. 105, 302 (1957).
12. Л.М.Сороко, ЖЭТФ, 35, 276, 1958.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 августа 1962года.

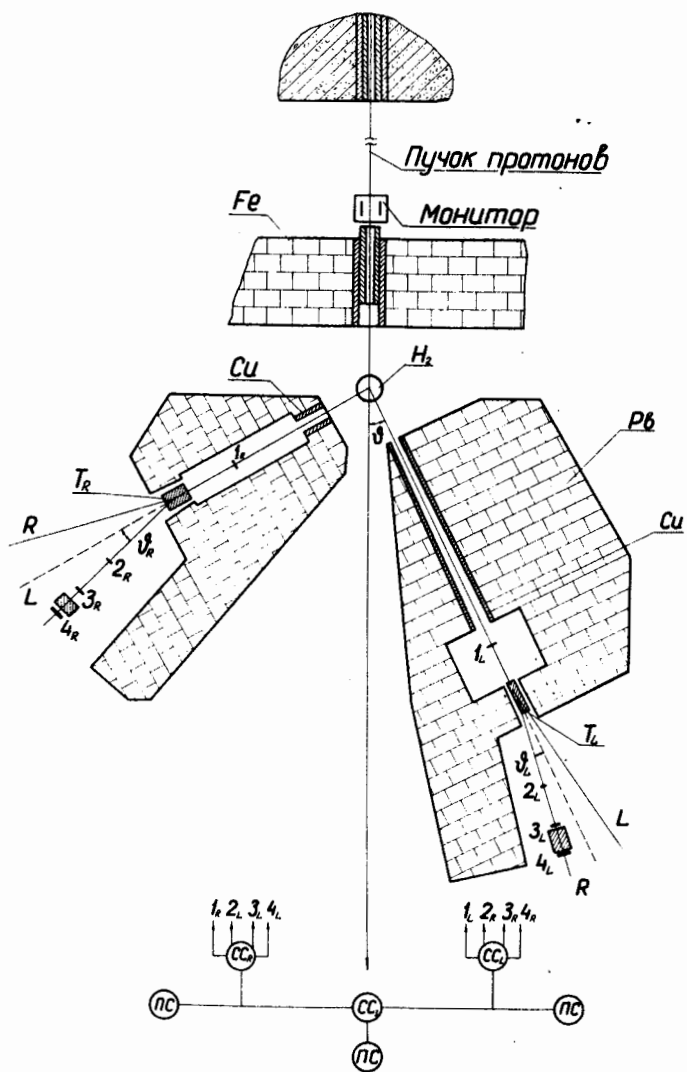


Рис. 1. Схема опыта.