

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев,  
Г.Д. Столетов

P-440

## ТРОЙНОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ ПРИ 660 МЭВ

II. Угловая зависимость деполяризации  
*ЖЭТФ, 1960, т38, в5, с 1457-1455.*

*исправлено в номерной  
издании.*

Дубна 1959 год

Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев,  
Г.Д. Столетов

P-440

ТРОЙНОЕ РАССЕЯНИЕ  
ПРОТОНОВ ПРИ 880 МЭВ

II. Угловая зависимость деполяризации

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

519/6 mp.

Сообщаются результаты измерений параметра деполяризации в рассеянии поляризованного пучка протонов с энергией 640 Мэв протонами на углы 54, 72, 108 и 128° в системе центра масс. При рассеянии на углы 54, 72 и 90° нормальная компонента поляризации пучка протонов изменяется незначительно. Сумма и разность значений параметра деполяризации для углов рассеяния, симметричных относительно направления 90°, интерпретируются в терминах амплитуд матрицы  $pp$ -рассеяния.

### В в е д е н и е

Предыдущие эксперименты показали, что рассеяние деполяризованного пучка протонов с энергией 640 Мэв протонами на угол 90° в системе центра масс /с.ц.м./ вызывает слабую деполяризацию пучка /1/. Этот результат свидетельствует о том, что при указанной энергии  $pp$ -взаимодействие, связанное с упругим рассеянием на большие углы, относительно редко сопровождается изменением ориентации спина. Дальнейшие сведения о характере  $pp$ -взаимодействия могут быть получены из опытов, в которых параметр деполяризации измеряется при углах рассеяния, как больших, так и меньших 90° в с.ц.м., что и было осуществлено в настоящей работе. Результаты таких измерений дадут два независимых соотношения между амплитудами матрицы  $pp$ -рассеяния вдобавок к двум соотношениям, отвечающим данным об угловой зависимости дифференциальных сечений и поляризации.

Описываемые опыты были выполнены на шестиметровом синхrocиклотроне Объединенного института ядерных исследований в соответствии с программой изучения  $pp$ -взаимодействия при 660 Мэв.

### Процедура измерений и результаты

Схема эксперимента, показанная на рис. 1, в общих чертах была такой же, как и в предыдущих измерениях /см.рис. 1а в /1//. Использовался пучок протонов с поляризацией  $P_1 = 0,58 \pm 0,03$  и энергией  $640 \pm 12$  Мэв,

рассеянных внутри камеры синхротронна налево на угол  $\theta^0$  в бериллиевой мишени-поляризаторе. Второе рассеяние происходило в цилиндрическом сосуде диаметром 12 см, наполненном жидким водородом. В центре жидководородной мишени средняя энергия протонов равнялась 635 Мэв, плотность потока в пучке диаметром 3 см составляла  $7 \cdot 10^5$  протонов/см<sup>2</sup>сек.

Параметр деполаризации  $D$  измерялся через интервал  $18^\circ$  угла рассеяния  $\theta_2$ , начиная с  $54^\circ$  и кончая  $126^\circ$ . Пучок протонов, вторично рассеянных налево на угол  $\theta_2$ , выделялся телескопом, составленным из трех счетчиков  $C_1, C_2, C_3$ . Чтобы отделить упругое  $pp$ -рассеяние от сопутствующих неупругих процессов, происходящих в жидководородной мишени, рассеянные протоны и протоны отдачи регистрировались сопряженными телескопами  $C_1 C_2 C_3$  и  $C_8 C_9$ , угол раствора между которыми отвечал кинематике упругих  $pp$ -соударений.

Нормальная составляющая вектора поляризации вторично рассеянных протонов определялась посредством измерения лево-правой асимметрии  $\epsilon_{3n}$  в испускании заряженных частиц в направлении  $\theta_3 = 12^\circ$  в лабораторной системе из углеродной мишени-анализатора  $R_3$ . Эти измерения заключались в регистрации девятикратных совпадений импульсов от счетчиков, сгруппированных в телескопы  $C_1 C_2 C_3$  и  $C_8 C_9$ , и счетчиков в телескопе  $C_4 C_5 C_6 C_7$ , детектировавшем трехкратно рассеянные протоны. В зарегистрированное число девятикратных совпадений вводились поправки, учитывающие: а/ случайные девятикратные совпадения /  $\sim 1\%$ ; б/ эффект от пустого сосуда /  $\sim 3\%$ . Чтобы убедиться в том, что отсчитываемые вправо и влево углы  $\theta_3$  действительно равны между собой и, следовательно, исключена возможность появления ложной асимметрии из-за несовпадения нулевой отметки шкалы отсчетов  $\theta_3$  с эффективной осью вторичного пучка, под всеми углами измерения тщательно определялся профиль пучка вторично рассеянных протонов. Процедура этих измерений была аналогична той, которая ранее использовалась берклиевской группой /2/.

Величина параметра деполаризации  $D / \theta_2$  находилась из соотношения /3/:

$$D = \frac{\epsilon_{3n}}{\epsilon_3} (1 + P_1 P_2) - \frac{P_2}{P_1}, \quad /1/$$

где  $P_1$  - первоначальная поляризация пучка,  $P_2$  - поляризация, возникающая при рассеянии в водороде неполяризованного пучка протонов на заданный угол  $\theta_2$ . Величина и угловая зависимость  $P_2$  известна из предыдущих измерений /4/.

$\xi_3$  представляет собой экспериментально наблюдаемую лево-правую асимметрию в испускании из углеродной мишени заряженных частиц под действием пучка протонов с поляризацией  $P_1$  и энергией, равной энергии протонов, рассеянных в водороде на угол  $\theta_2$ . При измерениях величины этой асимметрии использовалась та же аппаратура, что и при измерениях  $\xi_{3n}$ . Счетчики  $C_1, C_2, C_3$  и углеродная мишень устанавливались в первично поляризованном пучке протонов, энергия которого при помощи фильтра, составленного из свинцовых и полиэтиленовых пластин, понижалась до значения, равного энергии протонов во вторично рассеянном пучке. Частицы, испущенные из углеродной мишени в направлении  $12^\circ$ , регистрировались телескопом  $C_4 C_5 C_6 C_7$ , включенным на совпадение с телескопом  $C_1 C_2 C_3$ ; при этом интенсивность первичного пучка понижалась в 50-100 раз. Следует отметить, что измерения, выполненные с тормозящими фильтрами, имевшими различное соотношение между толщинами слоев свинца и полиэтилена, давали совпадающие в пределах стандартных отклонений значения  $\xi_3$ .

Под каждым углом наблюдения деполяризации было произведено 10-12 независимых повторных измерений асимметрий  $\xi_{3n}$  и  $\xi_3$ . В подавляющем большинстве случаев результаты повторных измерений совпадали в пределах ошибок со средними значениями. Данные о средних энергиях, а также угловом и энергетическом разбросе протонов во вторичных пучках приведены в таблице вместе с найденными значениями асимметрий  $\xi_{3n}$  и  $\xi_3$  и их статистическими ошибками. Там же приводятся полученные значения параметра деполяризации в зависимости от угла рассеяния.

Т а б л и ц а

Значения асимметрий  $\epsilon_{3n}$ ,  $\epsilon_3$  и параметра деполаризации  $D$

/для  $\theta_2 = 90^\circ$  приводятся результаты из /1//.

$\theta_2 \pm \Delta\theta_2$	$E_2 \pm \Delta E_2$ Мэв	$\epsilon_3 \pm \Delta\epsilon_3$	$\epsilon_{3n} \pm \Delta\epsilon_{3n}$	$D \pm \Delta D$
$54^\circ \pm 4^\circ$	$490 \pm 20$	$0,121 \pm 0,005$	$0,161 \pm 0,024$	$0,99 \pm 0,25$
$72^\circ \pm 4^\circ$	$416 \pm 21$	$0,173 \pm 0,008$	$0,164 \pm 0,029$	$0,69 \pm 0,20$
$90^\circ \pm 5^\circ$	$315 \pm 20^{x/}$	$0,216 \pm 0,012$	$0,200 \pm 0,032$	$0,93 \pm 0,17$
$108^\circ \pm 5^\circ$	$219 \pm 27$	$0,198 \pm 0,011$	$-0,023 \pm 0,033$	$0,28 \pm 0,16$
$126^\circ \pm 5^\circ$	$125 \pm 21$	$0,157 \pm 0,015$	$-0,009 \pm 0,036$	$0,57 \pm 0,20$

О б с у ж д е н и е

Согласно Вольфенштейну /3/, величина параметра деполаризации может меняться в пределах  $-1 + 2|P_2| \leq D \leq +1$ . Полученные в этих экспериментах результаты указывают на то, что параметр деполаризации, отвечающий  $pp$ -рассеянию на углы  $54, 72, 90, 108$  и  $128^\circ$ , имеет положительную величину. Более того, для углов рассеяния  $54, 72$  и  $90^\circ$  величина параметра деполаризации найдена близкой к  $+1$ . Сравнивая полученные для углов  $54, 72$  и  $90^\circ$  значения асимметрий  $\epsilon_{3n}$  и  $\epsilon_3$ , можно видеть, что в  $pp$ -рассеянии на указанные углы нормальная компонента поляризации не претерпевает значительных изменений.

Ранее систематические измерения параметра деполаризации в  $pp$ -рассеянии были выполнены при  $315$  /5/ и  $143$  /6/ Мэв для углов, меньших  $90^\circ$ . Как в том, так и в другом случаях полученные значения

<sup>x/</sup> В /1/ ошибочно указано, что разброс энергии вторично рассеянных протонов составляет  $\pm 40$  Мэв; в действительности же он был равен  $\pm 20$  Мэв.

параметра деполяризации имели положительный знак<sup>х/</sup>. Сопоставление имеющихся данных по тройному рассеянию протонов показывает, что с увеличением энергии от 143 до 635 Мэв в интервале углов рассеяния  $50 \leq \theta_2 \leq 90^\circ$  обнаруживается тенденция к возрастанию параметра деполяризации. Указания на эту особенность  $pp$ -взаимодействия в рассматриваемой области энергий были бы еще более убедительными, если бы измерения параметра деполяризации были выполнены с большей точностью и через меньшие интервалы энергии.

Если записать матрицу  $pp$ -рассеяния в обозначениях работы /3/

$$M = BS + C(\vec{\epsilon} + \vec{\epsilon}_t)\vec{n} + \frac{1}{2}G[(\vec{\epsilon}\vec{k})(\vec{\epsilon}_t\vec{k}) + (\vec{\epsilon}\vec{p})(\vec{\epsilon}_t\vec{p})]T + \frac{1}{2}H[(\vec{\epsilon}\vec{k})(\vec{\epsilon}_t\vec{k}) - (\vec{\epsilon}\vec{p})(\vec{\epsilon}_t\vec{p})]T + N(\vec{\epsilon}\vec{n})(\vec{\epsilon}_t\vec{n})T \quad /2/$$

и выразить дифференциальное сечение  $\sigma_0(\theta)$  рассеяния протонами неполяризованного пучка протонов и параметр деполяризации  $D(\theta)$  через комплексные амплитуды  $B$ ,  $C$ ,  $G$ ,  $H$  и  $N$  в следующем виде:

$$\sigma_0(\theta) = \frac{1}{4}|B|^2 + 2|C|^2 + \frac{1}{4}|G-N|^2 + \frac{1}{2}|N|^2 + \frac{1}{2}|H|^2, \quad /3/$$

$$\sigma_0(\theta)[1 - D(\theta)] = \frac{1}{4}[G - N - B]^2 + |H|^2, \quad /4/$$

то, имея в виду что  $B$ ,  $C/\sin\theta$  и  $H$  представляют собой четные, а  $G$  и  $N$  - нечетные функции  $\cos\theta$ , нетрудно показать, что значения параметра деполяризации для углов, симметричных относительно направления  $90^\circ$ , связаны следующими двумя независимыми соотношениями с амплитудами рассеяния:

<sup>х/</sup> Харуэллская группа /7/, проведя наблюдения деполяризации в  $pp$ -рассеянии при 142 Мэв, нашла отрицательные величины параметра деполяризации для углов в интервале  $50 \leq \theta_2 \leq 90^\circ$ . Этот результат, однако, не был подтвержден /см. /6//. Следует отметить, что знак параметра деполяризации крайне чувствителен к используемым моделям ядерных потенциалов. Так, найденные в работе /6/ значения параметра деполяризации согласуются с результатами расчетов Гаммеля и Талера /8/, использовавших статический потенциал с добавкой  $(\vec{L}\vec{S})$ -члена, тогда как использование потенциала Сигнела-Маршака /9/ приводит к значениям параметра деполяризации, отличающимся даже по знаку от того, что дает эксперимент.

$$\epsilon_0(\theta) [D(\theta) + D(\pi - \theta)] = 4 |C|^2 + |N|^2 - |H|^2, \quad /5/$$

$$\epsilon_0(\theta) [D(\theta) - D(\pi - \theta)] = \text{Re} \{ [G - N] B^* \}. \quad /6/$$

Отсюда видно, что произведение дифференциального сечения  $\epsilon_0(\theta)$  на сумму  $[D(\theta) + D(\pi - \theta)]$  представляется только через триплетные амплитуды  $C$ ,  $N$  и  $H$ , тогда как произведение дифференциального сечения  $\epsilon_0(\theta)$  на разность  $[D(\theta) - D(\pi - \theta)]$  обусловлено целиком синглет-триплетной интерференцией.

Основываясь на результатах настоящих опытов, можно с уверенностью утверждать, что в  $pp$ -рассеянии при 640 Мэв сумма  $[D(\theta) + D(\pi - \theta)]$  не равна нулю. Это означает, что в матрице  $pp$ -рассеяния существенную роль играют триплетные члены  $C(\vec{\sigma} + \vec{\sigma}_e)\vec{n}$ ,  $H[(\vec{\sigma}\vec{k})(\vec{\sigma}_e\vec{k}) - (\vec{\sigma}\vec{p})(\vec{\sigma}_e\vec{p})]$  и  $N(\vec{\sigma}\vec{n})(\vec{\sigma}_e\vec{n})$ . Как уже отмечалось в /1/, из того факта, что  $D(90^\circ)$  близко к +1, следует, что основной вклад в рассеяние на угол  $90^\circ$  дает член  $C(\vec{\sigma} + \vec{\sigma}_e)\vec{n}$ .

Чтобы выяснить, является ли различие между наблюдаемыми значениями  $D(\theta)$  и  $D(\pi - \theta)$  значимым, или же оно случайно, потребовалось проанализировать характер распределений всех ошибок измерений асимметрий  $\epsilon_{3n}$  и  $\epsilon_3$ , а также поляризаций  $P_1$  и  $P_2$ . Результат статистического анализа таков: вероятности того, что разности  $[D(54^\circ) - D(126^\circ)]$  и  $[D(72^\circ) - D(108^\circ)]$  по модулю отличны от нуля составляют соответственно 80 и 88%. Обе разности между наблюдаемыми значениями параметра депolarизации практически независимы друг от друга, и вероятность того, что обе эти разности одновременно случайно отклонились от среднего значения, равного нулю, составляет всего лишь  $\sim 3\%$ .

Таким образом, хотя данные настоящих опытов и не отличаются высокой точностью, они все же указывают на то, что в рассматриваемой области энергий и углов рассеяния имеет место синглет-триплетная интерференция, откуда следует, что конечные состояния  $pp$ -системы включают некоторую примесь синглетных состояний.



Авторы выражают благодарность Я.А.Сморозинскому, С.Н.Соколову, Н.П.Клепикову и Р.М.Рындиному за полезные дискуссии.

Рукопись поступила в издательский отдел 16 декабря 1958 года.

Л и т е р а т у р а

- 519/6 мф.
1. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ, 35, 1398, 1958.
  2. O. Chamberlain, E. Segre, R. Tripp, C. Wiegand, T. Ypsilantis, Phys.Rev. 102, 1659, 1956.
  3. L. Wolfenstein, Phys.Rev. 96, 1654, 1954.
  4. М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ, 33, 37, 1957.
  5. O. Chamberlain, E. Segre, R. Tripp, C. Wiegand, T. Ypsilantis, Phys.Rev. 105, 288, 1957.
  6. C. Hwang, T. Ophel, E. Thorndike, R. Wilson, F. Ramsey, Phys.Rev. Lett., 2, 310, 1959.
  7. A. Taylor, I. Wood, 1958 Annual International Conference on High-Energy Physics at CERN, edited by B. Feretti, CERN, Geneva, p. 56. 1958.
  8. J. Gammel, R. Thaler, Phys.Rev. 108, 163, 1957.
  9. P. Signell, R. Zinn, R. Marshak. Phys.Rev. Lett. 1, 416, 1958.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

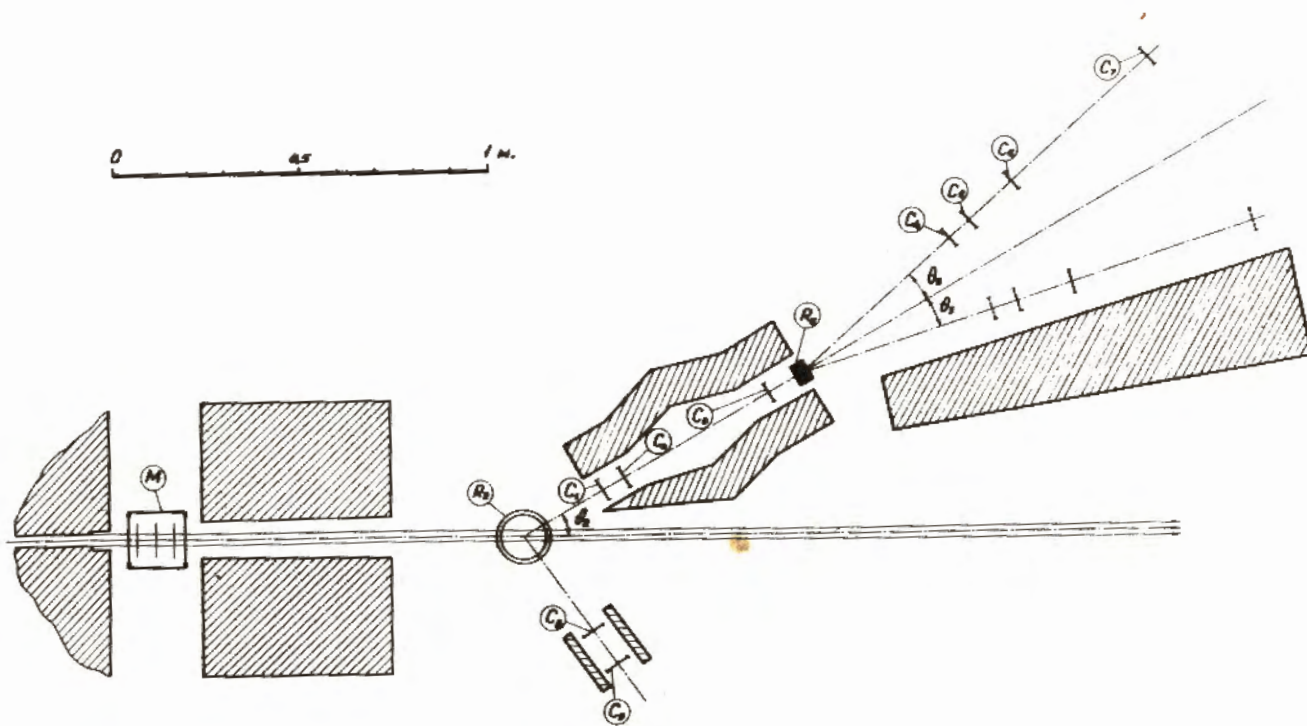


Рис. 1. Схема расположения рассеивателей и регистрирующей аппаратуры в плоскости рассеяния. М - монитор;  $R_2$  - второй рассеиватель - сосуд с жидким водородом;  $R_3$  - третий рассеиватель - блок графита сечением 5x5 см и толщиной 8 см;  $C_1 \dots C_9$  - сцинтилляционные счетчики, имевшие размеры по горизонтали и вертикали соответственно 6,5x6,5; 6x7; 6,7x7; 6x8; 6x6,5; 6,5x7; 6,5x6,5; 7,5x12 и 8,5x13 см и толщину 8 мм. Измерения  $D / 126^\circ$  производились без счетчиков  $C_2$  и  $C_5$ ; при этом использовался третий рассеиватель сечением 5x5 см и толщиной 3 см. Штриховкой показано расположение свинцовой защиты.