

6
A-34



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Л.С. Ажгирей, Н.П. Клепиков, Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков,
С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

P-1391

ДАЛЬНЕЙШЕЕ УТОЧНЕНИЕ
ФАЗОВЫХ СДВИГОВ pp -РАССЕЯНИЯ
ПРИ 657 МЭВ

ЖСЭТФ, 1964, т 46, 63, с 1074-1078.

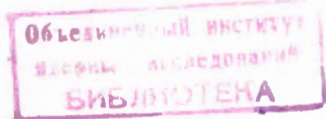
Дубна 1963

Л.С. Ажгирей, Н.П. Клепиков, Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков,
С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

P-1391

2075/2 чг.
ДАЛЬНЕЙШЕЕ УТОЧНЕНИЕ
ФАЗОВЫХ СДВИГОВ $\rho\rho$ -РАССЕЯНИЯ
ПРИ 657 МЭВ

Направлено в ЖЭТФ



Дубна 1963

In view of the new data on the angular dependence of the triple scattering parameter A the results on the pp -phase shift analysis at 657 MeV are specified. It has been found that the experimental data under consideration may be statistically reliably represented by the following set of the real parts of the phase shifts and of the mixing parameters $\delta(^1S_0) = -32,0 \pm 5,5$; $\delta(^3P_0) = -58,7 \pm 8,4$; $\delta(^3P_1) = -34,1 \pm 4,3$; $\delta(^3P_2) = 19,3 \pm 3,4$; $\epsilon_2 = -3,6 \pm 2,8$; $\delta(^1D_2) = 8,7 \pm 4,9$; $\delta(^3F_2) = -5,0 \pm 1,3$; $\delta(^3F_3) = 2,0 \pm 1,9$; $\delta(^3F_4) = 1,8 \pm 0,7$; $\epsilon_4 = -5,4 \pm 1,4$; $\delta(^1G_4) = 6,7 \pm 1,4$; $\delta(^3H_4) = 0,4 \pm 0,7$ (in degrees) and the absorption coefficients $r(^3P_{0,1,2}) = 0,936 \pm 0,022$; $r(^1D_2) = 0,678 \pm 0,037$; $r(^3F_{2,3}) = 0,795 \pm 0,020$ averaged over j . The arguments are given in favour of the unambiguity of the obtained set of the phase shifts.

А н н о т а ц и я

С учетом новых данных об угловой зависимости параметра тройного рассеяния A уточняются результаты фазового анализа pp -рассеяния при 657 Мэв. Найдено, что рассматриваемые экспериментальные данные могут быть статистически надежно представлены следующим набором реальных частей фазовых сдвигов и параметров смешивания: $\delta(^1S_0) = -32,0 \pm 5,5$; $\delta(^3P_0) = -58,7 \pm 8,4$; $\delta(^3P_1) = -34,1 \pm 4,3$; $\delta(^3P_2) = 19,3 \pm 3,4$; $\epsilon_2 = -3,6 \pm 2,8$; $\delta(^1D_2) = 8,7 \pm 4,9$; $\delta(^3F_2) = -5,0 \pm 1,3$; $\delta(^3F_3) = 2,0 \pm 1,9$; $\delta(^3F_4) = 1,8 \pm 0,7$; $\epsilon_4 = -5,4 \pm 1,4$; $\delta(^1G_4) = 6,7 \pm 1,4$; $\delta(^3H_4) = 0,4 \pm 0,7$ (в градусах) и усредненных по j коэффициентов поглощения: $r(^3P_{0,1,2}) = 0,936 \pm 0,022$; $r(^1D_2) = 0,678 \pm 0,037$; $r(^3F_{2,3}) = 0,795 \pm 0,020$. Приводятся аргументы в пользу единственности полученного набора фазовых сдвигов.

Недавно в ряде работ^{/1-4/} был проведен фазовый анализ pp -рассеяния при энергии 660 Мэв. Угловые зависимости параметра A , предсказываемые найденными в работах^{/1-3/} наборами фазовых сдвигов, значительно отличаются друг от друга. Завершение измерений параметра A в интервале углов $54^\circ - 126^\circ$ ^{/5/} показало, что результаты опытов лучше всего согласуются с угловой зависимостью, вычисленной по фазовым сдвигам решения, найденного в^{/3/}. Новые экспериментальные данные позволяют провести дальнейшее исследование этого решения, о чем сообщается в настоящей статье.

Помимо данных, собранных в таблице 1 работы^{/3/}, в анализ были включены также результаты измерений угловой зависимости параметра A ^{/5/}. Таким образом, всего в анализе было использовано 49 значений наблюдаемых величин. Эта информация представлялась, как и в^{/3/}, через комплексные фазовые сдвиги, реальные части которых определялись вместе с параметрами смешивания для низких парциальных волн феноменологически, а для высоких парциальных волн — по формулам одномезонного обмена. Предполагалось, что образование π -мезонов происходит только резонансным образом из начальных $^3P_{0,1,2}$, 1D_2 и $^3F_{2,3}$ состояний pp -системы, причем считалось, что мезообразование в состояниях $^3P_{0,1,2}$ и $^3F_{2,3}$ можно описать усредненными по j коэффициентами поглощения $r(^3P_{0,1,2})$ и $r(^3F_{2,3})$ ^{/1,3/}. В качестве исходного варианта расчета принималось наиболее вероятное решение из^{/3/}, которое затем варьировалось с включением новых феноменологических параметров.

В таблице, в столбцах 1-5, приведены значения действительных частей фазовых сдвигов вместе со значениями параметров смешивания и коэффициентов поглощения, которые были найдены при последовательном включении в анализ параметров смешивания ϵ_2 и ϵ_4 , а также реальных частей фазовых сдвигов 3H_4 , 3H_5 и 3H_6 состояний. Как видно, такое увеличение числа варьируемых параметров не вызывает существенного изменения фазовых сдвигов низких парциальных волн. Из приведенных в таблице значений отношения $\chi^2/\bar{\chi}^2$ для различных вариантов расчета следует, что при анализе использованных экспериментальных данных о pp -рассеянии вблизи 660 Мэв (с включением новых значений параметра A) все действительные части фазовых сдвигов волн с $j \leq 4$ нужно учитывать феноменологически. Это находит отражение также и в том, что феноменологические 3H_5 - и 3H_6 -фазовые сдвиги совпадают в пределах ошибок с их значениями, вычисленными в одномезонном приближении. Этот факт, однако, вряд ли стоит переоценивать. Само по себе такое сопоставление феноменологических и однопиконных фазовых сдвигов скорее является пробным,

^{x/} Аналог найденного в^{/3/} решения был получен также в^{/4/}.

ТАБЛИЦА

Значения реальных частей фазовых сдвигов (в градусах) и коэффициентов поглощения для различного числа варьируемых параметров. В скобках указаны значения фазовых сдвигов, вычисленные в одномерном приближении.

	1	2	3	4	5	6
χ^2	40,7	35,4	30,5	29,7	28,1	24,4
$\delta(^1S_0)$	-29,9±3,4	-33,5±4,1	-32,0±5,5	-32,1±6,1	-31,0±6,2	-31,9±11,1
$\delta(^3P_0)$	-53,5±8,6	-62,8±7,4	-58,7±8,4	-58,3±8,4	-56,9±8,6	-46,0±18,0
$\delta(^3P_1)$	-38,1±3,4	-36,6±2,7	-34,1±4,3	-35,0±4,4	-34,7±4,3	-35,8± 5,7
$\delta(^3P_2)$	16,6±1,2	16,8±1,4	19,3±3,4	19,0±3,3	19,0±3,3	18,3± 3,3
ϵ_2	- 2,3±1,7	- 1,9±1,8	- 3,6±2,8	- 3,8±2,8	- 3,9±2,9	- 2,8± 4,6
$\delta(^1D_2)$	11,4±2,3	10,0±2,4	8,7±4,9	8,0±6,2	8,5±6,2	7,5± 6,9
$\delta(^3F_2)$	- 4,4±1,6	- 5,0±1,6	- 5,0±1,3	- 5,4±1,5	- 6,2±1,7	- 3,6± 2,4
$\delta(^3F_3)$	0,5±1,3	1,6±1,5	2,0±1,9	2,8±2,6	2,7±2,6	1,6±5,3
$\delta(^3F_4)$	1,7±0,6	1,3±0,6	1,8±0,7	1,8±0,7	1,6±0,7	2,3±0,9
ϵ_4	(-2,811)	(-2,811)	- 5,4±1,4	- 5,6±1,3	- 5,4±1,4	- 5,7±1,7
$\delta(^1G_2)$	7,9±0,7	8,2±0,7	6,7±1,4	6,0±2,0	6,3±2,0	5,9±2,1
$\delta(^3H_4)$	(1,291)	0,1±0,6	0,4±0,7	0,3±0,7	0,6±0,8	0,2±0,9
$\delta(^3H_8)$	(-2,670)	(-2,670)	(-2,670)	- 1,8±1,3	- 2,0±1,3	(-2,670)
$\delta(^3H_8)$	(0,621)	(0,621)	(0,621)	(0,621)	1,0±0,4	(0,621)
$r(^3P_{0,1,2})$	0,937± ±0,022	0,929± ±0,024	0,936± ±0,022	0,936± ±0,022	0,945± ±0,023	$r(^3P_0)=0,79±0,18$ $r(^3P_1)=1,10±0,11$ $r(^3P_2)=0,90±0,17$
$r(^1D_2)$	0,672± ±0,037	0,686± ±0,036	0,678± ±0,037	0,675± ±0,037	0,678± ±0,038	$r(^1D_2)=0,66±0,04$
$r(^3F_{2,3})$	0,792± ±0,022	0,797± ±0,022	0,795± ±0,020	0,797± ±0,021	0,787± ±0,022	$r(^3F_2)=0,89±0,07$ $r(^3F_3)=0,67±0,11$
$\chi^2/\bar{\chi}^2$	1,13	1,01	0,90	0,90	0,88	0,80

поскольку при фазовом анализе, по-видимому, необходимо наряду с однопериодным обменом учитывать также обмен векторными / ω , ρ - частицы / и скалярными пионными системами.

Для проверки устойчивости найденного решения наряду с варьированием действительных частей фазовых сдвигов производилось раздельное варьирование коэффициентов поглощения в 3P_0 -, 3P_1 -, 3P_2 -, 1D_2 -, 3F_2 - и 3F_3 - состояниях. Этот вариант расчета приведен в последнем столбце таблицы. Видно, что в этом случае значения действительных частей феноменологических фазовых сдвигов и коэффициентов поглощения в пределах ошибок совпадают с их значениями в предыдущих вариантах расчета, однако ошибки всех параметров растут. Поэтому на данном этапе, когда в анализе используются лишь полные сечения неупругих процессов, а не более детальная информация об этих процессах, кажется неоправданным введение большого числа варьируемых параметров для того, чтобы учесть по-отдельности поглощение в 3P_0 -, 3P_1 -, 3P_2 -, а также 3F_2 - и 3F_3 - состояниях.

Был выполнен также расчет, в котором, помимо действительных частей фазовых сдвигов волн с $j \leq 4$, варьировались коэффициенты поглощения в 1S_0 -, 3P_0 -, 3P_1 -, 3P_2 -, 1D_2 -, 3F_2 -, 3F_3 - и 3F_4 - состояниях. Такой подход свободен от предположений о резонансной природе процессов образования мезонов. При этом в качестве информации о неупругих процессах использовалось лишь суммарное значение полных сечений образования π^+ и π^0 -мезонов. В случае этого варианта расчета средние значения действительных частей фазовых сдвигов изменились незначительно, хотя ошибки их сильно возросли. Значения коэффициентов поглощения при этом составили: $r(^1S_0) = 0,95 \pm 0,58$; $r(^3P_0) = 0,70 \pm 0,22$; $r(^3P_1) = 0,94 \pm 0,44$; $r(^3P_2) = 1,00 \pm 0,14$; $r(^1D_2) = 0,73 \pm 0,30$; $r(^3F_2) = 0,89 \pm 0,17$; $r(^3F_3) = 0,77 \pm 0,15$; $r(^3F_4) = 0,92 \pm 0,06$. Отношение $\chi^2/\bar{\chi}^2$ оказалось равным 0,83.

Вообще говоря, если бы оказалось, что $r(^1S_0) < 1$ и $r(^3F_4) < 1$, то это не противоречило бы резонансной модели, поскольку в общем случае нет строгих запретов для образования мезонов с D- и F- разлетом.

Для выяснения вопроса о том, не существует ли другое решение с низким значением χ^2 , отличное от найденного в ^{3/}, было предпринято исследование наиболее вероятных решений, полученных в других работах. Оказалось, что если включить в анализ результаты измерений параметров R и A и использовать фазовые сдвиги работы ^{1/} в качестве начальных значений, то этот набор фазовых сдвигов сходится к решению 1, полученному в ^{3/}. К этому же решению сходится и решение 1 работы ^{2/}, если включить в анализ данные о параметре A и предположить, что наряду с $^3P_{0,1,2}$ - и 1D_2 - состояниями в образовании мезонов дают вклад также и $^3F_{2,3}$ - состояния. Что же касается решений 2,3 и 4, найденных в ^{4/}, то из них решения 2 и

3 сходятся к решению 1 работы ^{/3/}, а решение 4 можно отбросить на том основании, что при включении в анализ результатов измерений параметра A соответствующее ему значение χ^2 оказывается больше, чем $3\bar{\chi}^2$.

Таким образом, в предположении, что образование π -мезонов происходит только в резонансных переходах из $^3P_{0,1,2}$, 1D_2 и $^3F_{2,3}$ - состояний, существующие данные об упругом pp -рассеянии вблизи 660 Мэв можно статистически надежно описать посредством 1S_0 -, 3P_0 -, 3P_1 -, 3P_2 -, 1D_2 -, 3F_2 -, 3F_3 -, 3F_4 -, 1G_4 - и 3H_4 -фазовых сдвигов и параметров смешивания ϵ_2 и ϵ_4 . Описание мезонообразования в $^3P_{0,1,2}$ и $^3F_{2,3}$ - состояниях при помощи усредненных по j коэффициентов поглощения, по-видимому, не искажает заметным образом действительных частей фазовых сдвигов.

Угловые зависимости наблюдаемых величин, вычисленные по уточненному набору фазовых сдвигов, приведенному в третьем столбце таблицы (начиная с этого столбца, как видно, отношение $\chi^2/\bar{\chi}^2$ мало изменяется при дальнейшем увеличении числа варьируемых параметров), показаны на рис. 1 и 2 вместе с соответствующими экспериментальными значениями. Угловые зависимости наблюдаемых величин были вычислены также и по параметрам, приведенным в столбце 6 таблицы. Для всех наблюдаемых величин, за исключением коэффициента спиновой корреляции C_{KR} , эти угловые зависимости оказались близки к рассчитанным по данным столбца 3.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что в настоящее время вблизи 660 Мэв имеется лишь одно устойчивое решение, статистически удовлетворительно согласующееся с имеющейся информацией о pp -рассеянии, которая, в общем, достаточна только для того, чтобы оценить значения реальных частей фазовых сдвигов 1S_0 -, 3P -, 1D_2 -, 3F - и 1G_4 - состояний и коэффициентов поглощения $r(^3P_{0,1,2})$, $r(^1D_2)$, $r(^3F_{2,3})$. Относительно 3F_3 , 3F_4 , 3H_4 -фазовых сдвигов и параметра смешивания ϵ_2 можно сейчас сказать лишь только то, что они малы. Следует особо подчеркнуть, что не удается статистически надежно представить через фазовые сдвиги данные о pp -рассеянии при 660 Мэв, не учитывая образования мезонов в начальных 3F -состояниях.

В пользу найденного решения можно привести некоторые дополнительные аргументы. Во-первых, как уже отмечалось в ^{/3/}, величина 1S_0 -фазового сдвига этого решения согласуется со значением, которое можно получить, если воспользоваться вычисленными Нойесом ^{/6/} значениями параметров A , B и \bar{r} разложения $k \text{ ctg} [\delta(^1S_0) + k\bar{r}] = A + B\bar{r}^2 k^4 + O(k^6)$ в приближении эффективного радиуса [эти значения параметров A , B и \bar{r} были получены из анализа экспериментальных данных о pp - и pn -рассеяниях в области энергий, меньших 310 Мэв]. Во-вторых, найденное решение может быть плавно связано с соответствующими кривыми $YLA M$ -решения ^{/7/} и решения 1 из работы ^{/8/}, полученными для энергий, меньших 345 Мэв.

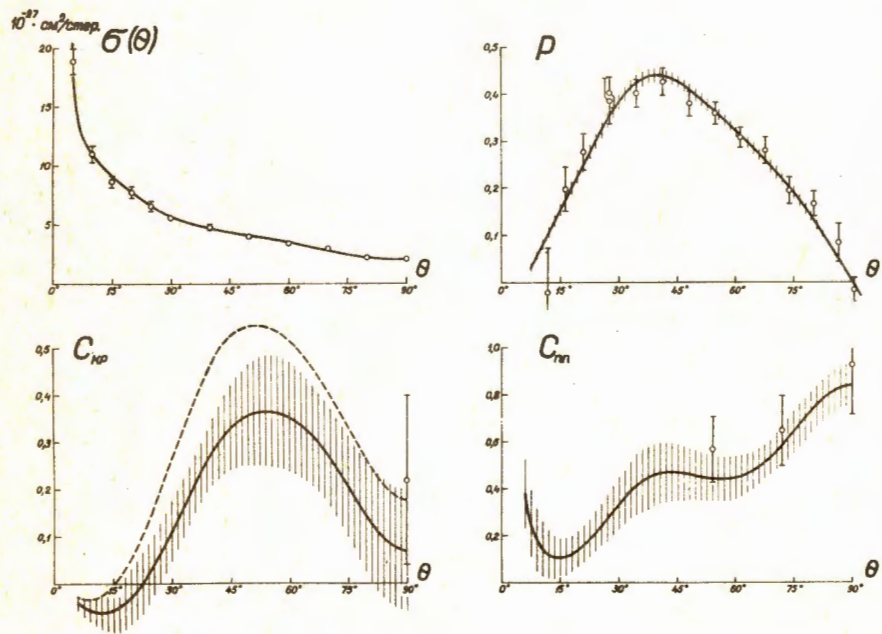
При этом оказывается, что имеющиеся экспериментальные данные о pp -рассеянии при промежуточной энергии ≈ 435 Мэв, как было показано Аджиреем ^{/8/}, можно удовлетворительно описать при помощи фазовых сдвигов, согласующихся с соответствующими интерполяционными кривыми, связывающими решения при энергиях, меньших 345 Мэв, и при энергии ≈ 660 Мэв.

Авторы благодарны И.Н. Силину и С.Н. Соколову за ряд полезных замечаний.

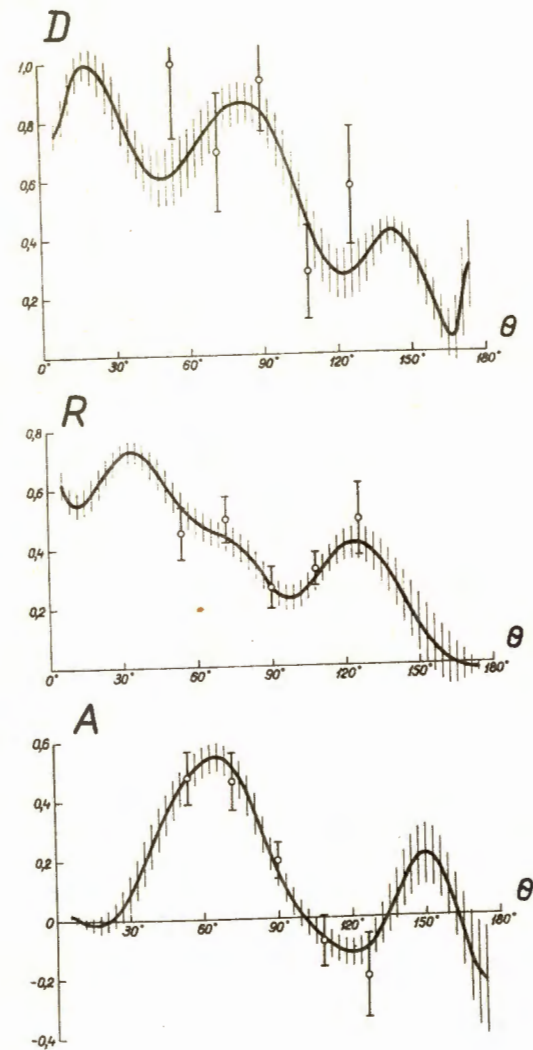
Л и т е р а т у р а

1. N.Hoshizaki, S.Machida. Progr. Theor. Phys., **29**, 49 (1963).
2. Р. Зилькарнеев, И. Силин. ЖЭТФ, **44**, 1106 /1963/. Препринт ОИЯИ Р-1217, 1963.
3. Л.С. Аджирей, Н.П. Клепиков, Ю.П. Кумекин, М.Г. Мешеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ /в печати/.
4. И. Быстрицкий, Р. Зилькарнеев. Препринт ОИЯИ Д-1236, 1963.
5. Ю.П. Кумекин, М.Г. Мешеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ /в печати/.
6. H.P.Noyes. Proc. Int. Conf. on Nuclear Forces, Vol. 1, London, 1960, p. 39.
7. G.Breit, M.H.Hull, K.E.Lassila, K.D.Pyatt, H.M.Ruppel. Phys. Rev., **128**, 826 (1962).
8. Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин. ЖЭТФ, **43**, 692 /1962/. ЖЭТФ, **43**, 1385 /1962/.
9. Л.С. Аджирей. Препринт ОИЯИ Р-1312, Дубна, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 августа 1963 г.



Р и с. 1. Угловые зависимости дифференциального сечения, поляризации и коэффициентов спиновой корреляции в упругом pp -рассеянии, вычисленные по данным третьего столбца таблицы. Вертикальными штрихами показаны коридоры ошибок кривых. Представлены использованные экспериментальные данные. Штриховой линией показана угловая зависимость коэффициента корреляции C_{KP} , вычисленная по данным шестого столбца таблицы.



Р и с. 2. Вычисленные угловые зависимости параметров тройного рассеяния D , R , A вместе с использованными экспериментальными данными.