

С 346.2 Г

к-143

3/VIII-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2170



Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, Ю.Н. Симонов

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ  
НУКЛОН-НУКЛОННОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 400 МЭВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

P - 2170

Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, Ю.Н. Симонов

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ  
НУКЛОН-НУКЛОННОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 400 МЭВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

3401/2 нр.

В настоящее время амплитуда нуклон-нуклонного рассеяния определена достаточно однозначно в интервале энергий 100-300 Мэв. Выше порога мезообразования фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния ранее был выполнен только при энергии 630 Мэв<sup>/1/</sup>. При этом результаты анализа были заметно неоднозначны и, кроме того, фазовые сдвиги определены с большими ошибками. С точки зрения надежного определения амплитуды рассеяния нуклонов нуклонами в области энергий выше порога мезообразования анализ данных при энергии 400 Мэв интересен прежде всего по двум причинам. Во-первых, потому, что эта энергия не столь велика, чтобы процессы неупругих столкновений существенно влияли на упругое рассеяние, соответственно мнимые добавки к фазовым сдвигам должны быть малы. Во-вторых, немонотонности в энергетической зависимости фазовых сдвигов, если только они существуют в интервале 300-400 Мэв, могут дать некоторые сведения о процессах мезообразования.

Результаты опытов по тройному  $pp$ -рассеянию, выполненные при энергии 430 Мэв<sup>/2/</sup>, дали возможность восстановить набор фазовых сдвигов в  $pp$ -рассеянии, наилучшим образом соответствующий наиболее вероятному решению, найденному ранее при более низких энергиях<sup>/3/</sup>. В предлагаемой работе сделан фазовый анализ всех известных данных по нуклон-нуклонному рассеянию при энергии, близкой к 400 Мэв. При этом детально исследован вопрос о неоднозначности решения задачи.

Обработанные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Фазовый анализ проводился методом, описанным ранее в работе<sup>/13/</sup>. Поиск решений со случайных начальных условий производился при  $l_{\max} = 3$ , т.е. фазовые сдвиги волн до  $F$ -волны включительно определялись по экспериментальным данным, взаимодействие в более высоких состояниях учитывалось в одномезонном приближении. После 150 попыток поиска решений со случайных начальных условий в интервале  $\overline{\chi^2} \leq \chi^2 \leq 2\overline{\chi^2}$  было найдено пять решений (табл. 2). Интересно заметить, что в этот интервал  $\chi^2$  не попало ни одного решения с отрицательным значением фазового сдвига  $^1S_0$ -волны.

Т а б л и ц а 1  
Экспериментальные данные

Величина	Энергия, при которой измерено	Число точек	Литературный источник
$\sigma_{pp}$	380, 415	34	4
$P_{pp}$	415, 430	14	5,2
$D_{pp}$	415, 430	8	6,2
$R_{pp}$	430	7	2
$A_{pp}$	430	6	2
$A'_{pp}$	430	7	2
$C_{pp}^{pp}$	400, 380	3	7,8
$C_{pp}^{pp}$	400	2	7
$\sigma_{pp}^t$	410	1	9
$\sigma_{pp}$	400, 380	21	10, 17
$P_{pp}$	350	9	11
$\sigma_{pp}^t$	410	1	12

Т а б л и ц а 2

Решения, найденные при поиске со случайных начальных условий

Номер решения	$\chi^2/\chi^2$	Число повторений
1	1,8	5
2	1,8	3
3	2,2	1
4	1,8	1
5	1,8	3

Как видно из таблицы 2, все найденные решения одинаково плохо описывают обработанный экспериментальный материал. При этом оказывается, что заметные флуктуации во вкладах в  $\chi^2$  от отдельных экспериментальных точек отсутствуют. Это указывает на то, что число параметров, использованных для описания экспериментальных данных, по-видимому, недостаточно. Увеличивать число параметров можно было в двух направлениях: во-первых, за счет увеличения  $l_{max}$ , т.е. увеличения числа состояний, для которых фазовые сдвиги определяются из эксперимента, и, во-вторых, за счет введения мнимых добавок к фазовым сдвигам, которые учитывают наличие процессов мезообразования. Оказалось, однако, что введение мнимых частей фазовых сдвигов при

$l_{max} = 3$  для  ${}^3P_{0,1,2}$  и  ${}^1D_2$  - воли практически не снижает  $\chi^2$ . После увеличения  $l_{max}$  значения  $\chi^2/\chi^2$  упали соответственно до 1,15; 1,34; 1,58; 1,12; 1,27 при  $l_{max} = 4$  и 1,08; 1,08; 1,25; 1,12; 1,02 при  $l_{max} = 5$ .

Дальнейший отбор решений производился на основании характера зависимостей экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния. Известно, что подобие этих зависимостей наблюдается в широкой области энергий. Опираясь на этот факт, мы сравнили все угловые зависимости, рассчитанные по различным наборам фазовых сдвигов, при энергии 200, 310 и 400 Мэв. При этом оказалось, что по характеру угловых распределений  $C_{kp}^{pp}(\theta)$  все найденные решения в соответствии с двумя, существующими при энергии 310 Мэв наборами фаз, можно разделить на две группы: решения 1,2,4 - решения типа набора 1 и 3,5 - решения типа набора 2<sup>/14/</sup>. В связи с тем, что набор 1 является, по-видимому, наиболее вероятным решением в области энергий ниже порога мезообразования<sup>/15/</sup> в дальнейшем при учете процессов мезообразования исследовались только решения 1,2,4.

Учет процессов неупругих столкновений проводился в двух предположениях:

- а) мезообразование идет только из начальных  ${}^3P_{0,1,2}$  и  ${}^1D_2$  - состояний.
- б) мезообразование идет из начальных  ${}^3P_{0,1,2}$ ,  ${}^1D_2$  и  ${}^3F_{2,3,4}$  - состояний. При этом поглощение воли с данным орбитальным моментом может быть описано неким усредненным коэффициентом поглощения, иначе говоря, мнимые добавки к фазовым сдвигам в состояниях с данным орбитальным моментом одинаковы<sup>/16/</sup>.

Расчеты показали, как уже говорилось, что добавка мнимых частей к фазовым сдвигам в случае  $l_{max} = 3$  несущественно улучшает согласие с экспериментом.  $\chi^2$  уменьшается всего на несколько единиц. При  $l_{max} = 4$  наблюдается заметное снижение  $\chi^2$  с 1,15; 1,34; 1,12 в случае предположения а) до 0,80; 1,25, 0,88 и в случае предположения б) до 0,87; 0,94; 0,88 для решений 1,2,4 соответственно. При этом в предположении а), однако, мнимая часть фазового сдвига  ${}^3P_2$  во всех случаях отрицательна, т.е. решение уходит в нефизическую область не менее, чем на три-пять ошибок. Благодаря этому, несмотря на низкое значение отношения  $\chi^2/\chi^2$ , этот вариант решения кажется сомнительным. Решения, полученные в предположении б), в этом смысле лучше. Как видно из таблицы 3, решение 1 имеет при достаточно низком отношении  $\chi^2/\chi^2$  мнимую часть только у  ${}^1D_2$  - фазового сдвига. При введении мнимых частей у фазовых сдвигов  ${}^3P$  и  ${}^3F$  - воли решение уходит в нефизическую область. В решении 2 отлична от нуля и положительна только мнимая часть фазового сдвига  ${}^3F$  - воли (табл. 4). При добавлении мнимых частей к фазовым сдвигам  ${}^1D_2$  и  ${}^3P$  - воли решение также уходит в нефизическую область. В решении 4 (табл.5) мнимую часть правильно знаки имеет только фазовый сдвиг  ${}^1D_2$ .

### З а к л ю ч е н и е

1. Результаты анализа неоднозначны. Имеется по крайней мере три решения, которые примерно одинаково вероятны по  $\chi^2$  - критерию. Для устранения неоднозначности крайне желательно было бы проведение хотя бы одного эксперимента по тройному пр - рассеянию. Как видно из рисунков 1-4, заметное различие в кривых для экспериментальных величин наблюдается только в пр - системе. Интересно отметить, что не найдено ни одного набора фазовых сдвигов с отрицательным значением фазового сдвига  $S_0$  - волны, который удовлетворительно описывал бы экспериментальные данные.

2. Удовлетворительное описание эксперимента получается в предположении, что одномезонное приближение правильно описывает взаимодействие в состояниях с орбитальными моментами  $l \geq 5$  ( $l_{\max} = 4$ ).

3. Учет неупругих столкновений заметно улучшает описание экспериментальных данных при  $l_{\max} = 4$ . При этом оказывается, что решения имеют физический смысл только в том случае, если считать, что все мезообразование идет из начальных  $^1D_2$  и  $^3F$  - состояний. В этом смысле полученные решения подобны найденным ранее в работах по фазовому анализу при энергии 630-660 Мэв /18/.

4. Набор 1 (табл. 3) наилучшим образом согласуется со значениями фазовых сдвигов, полученных интерполяцией решений, найденных при энергиях 310 и 680 Мэв. Остальные два решения ведут себя в этом смысле заметно хуже. Если судить по набору 1, энергетические зависимости фазовых сдвигов в интервале энергий 300-630 Мэв, за исключением параметра смешивания  $\epsilon_1$ , монотонны.

5. Константа связи  $f^2$ , если ее брать в качестве варьируемого параметра, в пределах ошибок согласуется со значением 0,08.

Авторам приятно поблагодарить А.М. Розанову за помощь в работе.

### Л и т е р а т у р а

1. Ю.М. Казарин, В.С. Киселев. ЖЭТФ, 46, 787 (1964); Ю.М. Казарин, И.Н. Силин. ЖЭТФ, 43, 1386 (1962).
2. R.Roth, E.Engels, S.C.Wright, P.Kleppel, R.Handler, L.G.Pondrom. Труды XII международной конференции по физике высоких энергий, Дубна, 1964.
3. Л.С. Ажгирей. Преприят ОИЯИ, Р-1812, Дубна, 1964.
4. D.Harting, J.R.Holt, I.A.Moore. Proc. Phys. Soc., 71, 770 (1958); I.R.Holt, J.C.Kluyver, I.A.Moore. Proc. Phys. Soc., 71, 781 (1958); R.B.Sutton, T.H.Fields, J.G.Fox, J.A.Kane, W.E.Moot, R.A.Stallwood. Phys. Rev., 97, 783 (1955).

5. J.Kane, R.Stallwood, R.Sutton, T.Fields, J.Fox. Phys. Rev., 95, 1694 (1954).
6. J.Kane, R.Stallwood, R.Sutton, J.Fox. Bull. Am. Phys. Soc., 1, 9 (1956).
7. E.Engels, Jr. T.Bowan, J.W.Cronin, R.L.McIlwain, L.G.Pondrom. Phys. Rev., 129, 1858 (1963).
8. A.Ashmore, A.N.Duddens, G.B.Huxtable, K.Scarsvag. Proc. Phys. Soc., 72, 289 (1958).
9. O.Chamberlain, G.Pettingill, E.Segre, C.Wiegand. Phys. Rev., 93, 1424 (1954).
10. A.J.Hartzler, R.T.Siegel, Opitz. Phys. Rev., 95, 591 (1954); A.J.Hartzler, R.T.Siegel. Phys. Rev., 95, 185 (1954).
11. R.T.Siegel, A.J.Hartzler, W.A.Love. Phys. Rev., 101, 838 (1956).
12. V.A.Nedzel. Phys. Rev., 94, 174 (1955).
13. Ю.М. Казарин, И.Н. Силин. ЖЭТФ, 43, 682 (1962).
14. H.P.Stapp, T.I.Ypsilantis, N.Metropolis. Phys. Rev., 105, 302 (1957).
15. Ю.М. Казарин. Труды XII международной конференции по физике высоких энергий. Обзорный доклад. Дубна, 1964.
16. N.Hoshizaki, S.Machida. Prog. Theoret. Phys., 29, 49 (1963); В.П. Джелепов, Ю.М. Казарин, Б.М. Головин, В.Б. Флягин, В.И. Сатаров. Изв. АН СССР, сер. физ., 19, 573 (1955).

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 мая 1965 г.

Таблица 3  
Фазовые сдвиги в градусах  
Набор 1 (параметризация Стаппа и др. /14/)

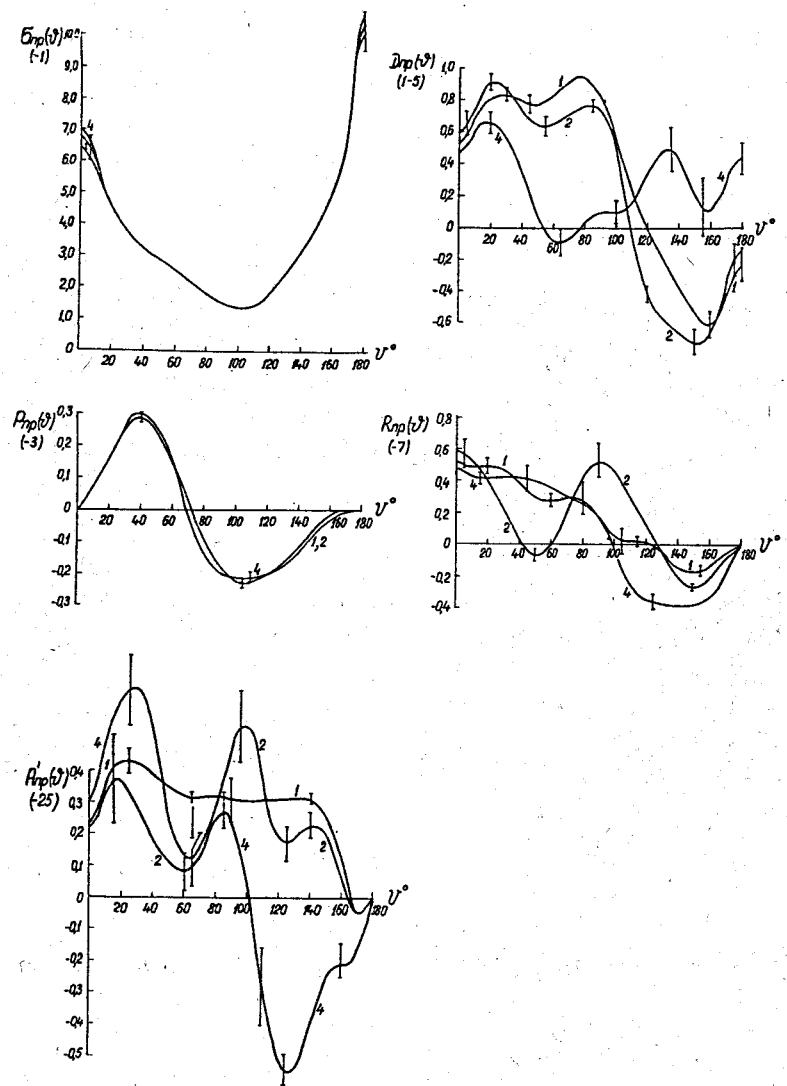
	$l_{max}$			
	3	4	4	5
$x^2$	155,0	107,9	77,9	91,5
$t^2$	0,055±0,007	0,062±0,008	0,081±0,010	0,072±0,017
$^1s_0$	-5,82 ±1,46	-14,58 ±2,14	-11,95 ±1,69	-14,78 ±2,599
$^2s_1$	-19,07 ±4,74	-0,79 ±4,43	3,93±±3,50	-23,31 ±6,88
$^3p_0$	-20,55 ± 2,20	-14,36 ±1,98	-14,48 ±2,04	-14,15 ±3,47
$^1p_1$	-37,81 ± 6,59	-49,44 ±2,98	-48,90 ±2,19	-15,57 ±15,23
$^2p_1$	-35,71 ±0,81	-35,13 ±0,82	-33,27 ±0,97	-34,67 ±0,93
$^3p_2$	16,39 ±0,46	17,97 ±0,54	18,21 ±0,56	17,75 ±0,93
$^1e_1$	21,89 ±3,77	7,44 ±3,52	4,92 ±3,06	19,67 ±4,00
$^2d_1$	-21,27 ±2,14	-26,89 ±2,58	-29,88 ±2,73	-25,88 ±3,58
$^1d_2$	12,74 ±0,45	11,10 ±0,60	12,56 ±0,55	11,86 ±0,68
$^2d_2$	13,32 ±1,96	13,74 ±2,59	11,80 ±2,93	18,92 ±4,53
$^3d_3$	-4,37 ±1,17	-1,15 ±1,42	-1,51 ±1,62	-2,94 ±1,31
$^1e_2$	-1,20 ±0,71	-0,08 ±0,69	-0,38 ±0,70	-0,03 ±0,88
$^2f_2$	1,69 ±0,59	2,76 ±0,62	2,05 ±0,63	1,96 ±0,72
$^3f_3$	-2,13 ±0,55	-3,25 ±0,58	-2,75 ±0,61	-2,78 ±0,73
$^1f_3$	-5,54 ±0,89	-3,84 ±1,37	-3,49 ±1,35	-9,96 ±3,97
$^2f_4$	3,90 ±0,20	3,68 ±0,26	3,83 ±0,28	3,37 ±0,03
$^3e_3$		7,77 ±1,11	7,36 ±0,97	5,84 ±3,58
$^1g_3$		-2,61 ±2,17	-0,38 ±1,76	-3,96 ±3,24
$^2g_4$		2,13 ±0,28	2,63 ±0,32	2,56 ±0,04
$^3g_4$		-0,54 ±2,22	-3,95 ±0,84	10,66 ±2,76
$^1g_5$		-4,36 ±1,19	-6,53 ±1,75	-4,84 ±1,31
$^2e_4$				-2,36 ±0,04
$^3h_4$				-0,08 ±0,69
$^1h_5$				-3,01 ±1,66
$^2h_5$				-0,59 ±0,52
$^3h_6$				0,02 ±0,04
Мнимые части фазовых сдвигов				
$^1d_2$		5,25 ±1,01		

Таблица 4  
Фазовые сдвиги в градусах  
Набор 2 (параметризация Стаппа и др. /14/)

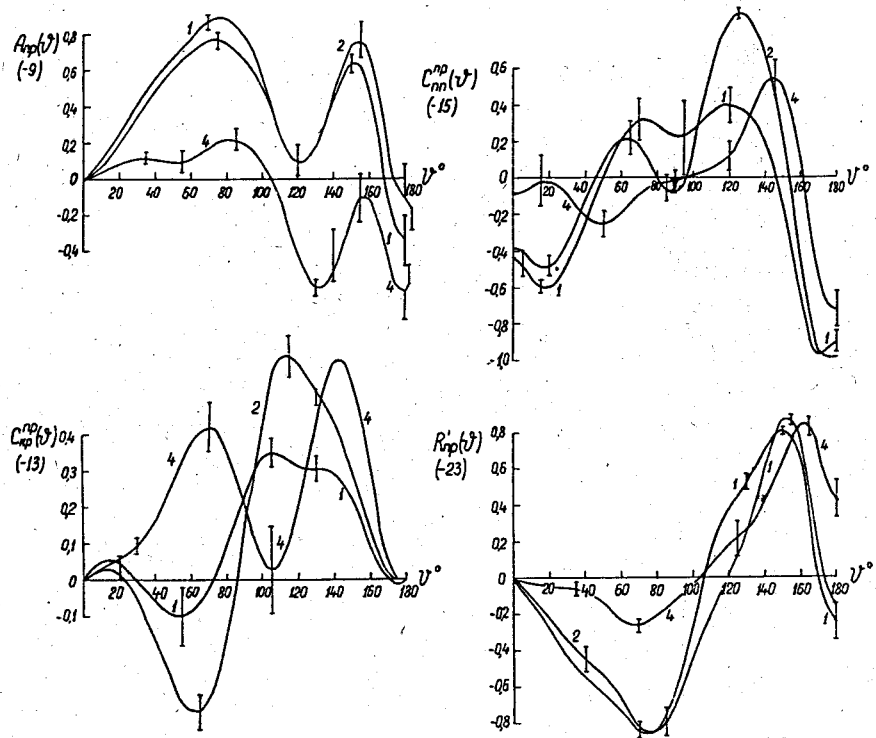
	$l_{max}$			
	3	4	4	5
$x^2$	156,0	122,8	93,1	92,7
$t^2$	0,049±0,007	0,062±0,008	0,071±0,006	0,082±0,009
$^1s_0$	-7,41 ±1,65	-20,10 ±2,79	-34,43 ±5,12	-28,12 ±3,44
$^2s_1$	-2,19 ±5,24	-2,28 ±8,36	-0,18 ±5,28	-9,35 ±9,01
$^3p_0$	-2,76 ±1,40	-1,99 ±1,38	-6,40 ±1,27	-3,47 ±1,91
$^1p_1$	-44,78 ±4,04	-37,70 ±7,61	-37,40 ±2,98	-19,42 ±7,12
$^2p_1$	-25,19 ±0,73	-26,17 ±0,98	-27,14 ±1,29	-25,43 ±1,85
$^3p_2$	26,56 ±0,55	25,40 ±0,79	23,11 ±0,99	24,24 ±1,33
$^1e_1$	12,79 ±2,94	5,16 ±6,02	-0,96 ±1,33	8,34 ±5,96
$^2d_1$	-16,17 ±1,19	-21,83 ±2,85	-25,12 ±2,34	-23,96 ±3,83
$^1d_2$	13,03 ±0,47	10,85 ±6,05	9,61 ±0,68	9,92 ±0,88
$^2d_2$	22,55 ±1,81	23,96 ±3,96	21,99 ±1,52	26,65 ±4,21
$^3d_3$	-3,29 ±1,00	-1,30 ±1,19	-2,20 ±1,09	-3,74 ±1,51
$^1e_2$	3,88 ±0,57	4,75 ±0,59	3,63 ±0,72	4,35 ±0,61
$^2f_2$	-4,57 ±0,42	-2,02 ±0,58	-0,89 ±0,76	-2,05 ±0,64
$^3f_3$	-4,78 ±0,68	-7,20 ±1,18	-7,53 ±0,86	-8,44 ±1,68
$^1f_3$	0,29 ±1,49	-0,77 ±0,62	-0,88 ±0,68	0,46 ±0,76
$^2f_4$	-1,79 ±0,25	-0,82 ±0,38	0,35 ±0,55	0,18 ±0,50
$^3e_3$		10,29 ±0,87	10,49 ±0,64	10,43 ±1,30
$^1g_3$		-2,68 ±1,47	-3,42 ±1,72	-3,55 ±2,47
$^2g_4$		2,33 ±0,34	2,80 ±0,35	3,92 ±0,40
$^3g_4$		3,79 ±4,91	-4,88 ±1,28	8,17 ±1,79
$^1g_5$		-3,78 ±1,52	10,31 ±4,31	-5,85 ±1,44
$^2e_4$				-0,75 ±0,59
$^3h_4$				-0,89 ±0,33
$^1h_5$				-3,51 ±1,16
$^2h_5$				-1,29 ±0,47
$^3h_6$				0,16 ±0,45
Мнимые части фазовых сдвигов				
$^4f_{2,3,4}$		0,42 ±0,14		

Таблица 5  
Фазовые сдвиги в градусах  
Набор 4 (параметризация Сталпа и др. /14/)

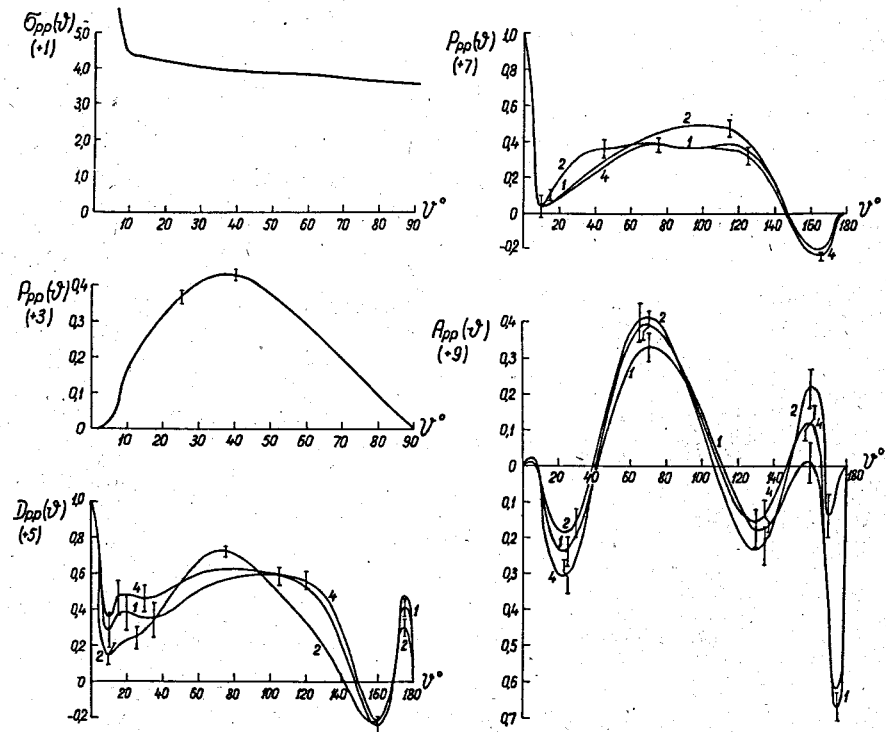
	$\ell_{max}$			
	3	4	4	5
$\chi^2$	173,2	107,3	80,1	96,1
$f^2$	0,056±0,005	0,074±0,010	0,093±0,010	0,062±0,018
$^1s_0$	-4,98 ±1,29	-13,12 ± 1,99	-10,84 ±1,56	-12,89± 2,32
$^2s_1$	5,35 ±2,69	27,95±14,32	28,52 ±4,91	34,77±10,5
$^3p_0$	-23,97 ±2,44	-16,15± 2,11	-16,55 ±2,13	-16,41± 3,28
$^1p_1$	-54,08 ±3,55	-42,81±19,3	-38,21 ±5,81	-35,56±16,2
$^3p_1$	-34,57 ±0,78	-34,85± 0,80	-32,97 ±0,96	-34,98± 0,89
$^3p_2$	16,46 ±0,47	17,84± 0,50	18,11 ±0,54	17,20± 0,86
$\epsilon_1$	6,82 ±3,09	-14,86±23,1	-18,17 ±6,88	-18,74±14,49
$^1d_1$	18,31 ±2,34	22,91± 5,02	21,61 ±3,53	27,47± 5,79
$^1d_2$	13,38 ±0,35	11,57± 0,57	12,70±0,52	12,22± 0,67
$^3d_2$	-12,75 ±2,34	-1,49±12,0	0,77 ±3,39	+1,61±10,1
$^3d_3$	5,18 ±1,85	6,50± 3,16	7,87 ±2,02	4,43± 2,88
$\epsilon_2$	-2,46 ±0,58	-0,42± 0,72	-0,50 ±0,70	-0,41± 0,86
$^3f_2$	-0,37 ±0,57	2,44± 0,61	2,06 ±0,61	1,65± 0,74
$^1f_3$	7,23 ±1,25	-3,21± 4,46	-3,37 ±1,07	-4,15± 3,20
$^3f_3$	-0,51 ±0,53	-2,83± 0,59	-2,48 ±0,61	-2,64± 0,73
$^3f_4$	3,93±0,20	3,71± 0,27	3,88 ±0,29	3,46± 0,33
$\epsilon_3$		3,40± 2,56	2,00 ±2,10	1,85± 2,71
$^3g_3$		-4,56± 4,67	-4,92 ±2,34	-2,53± 2,08
$^1g_4$		2,14± 0,29	2,65 ±0,37	2,20± 0,40
$^3g_4$		0,48± 2,32	-5,78 ±1,35	0,07± 2,06
$^3g_5$		-4,77± 1,76	-6,58 ±1,75	-3,94± 1,09
$\epsilon_4$				-2,38± 0,45
$^3h_4$				0,30± 0,57
$^1h_5$				-1,82± 1,26
$^3h_5$				0,81± 0,53
$^3h_6$				0,52± 0,35
Мнимые части фазовых сдвигов				
$^1d_2$			4,83± 0,99	



Р и с. 1. Зависимости экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния.

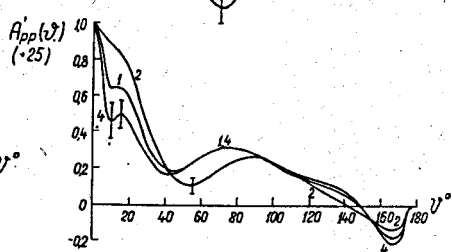
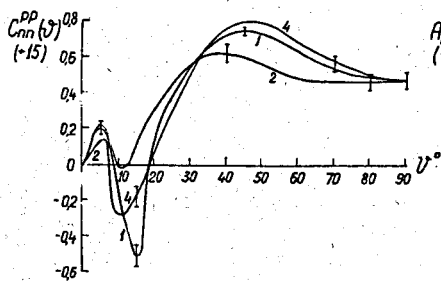
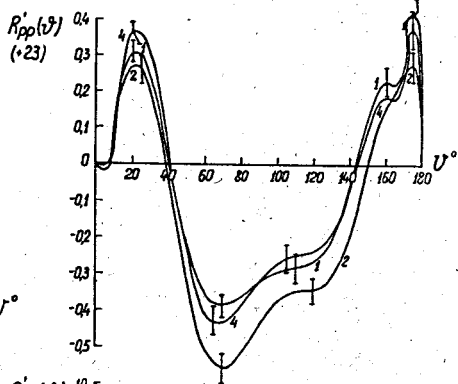
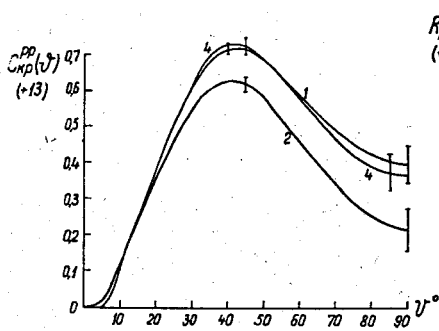


Р и с. 2. Зависимости экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния.



Р и с. 3. Зависимости экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния.





Р и с. 4. Зависимости экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния.