

Б  
К14



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР**

**Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, И.Н. Силин.**

**P - 1221**

**ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ  
НУКЛОН-НУКЛОННОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 660 МЭВ. I**

**Дубна 1963 года**

Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, И.Н.Силин.

P - 1221

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ  
НУКЛОН-НУКЛОННОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 660 МЭВ. I

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963 года

Фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния при энергиях, лежащих выше порога мезообразования, заметно усложняется. Постановка задачи в достаточно общем виде требует проведения чрезвычайно широкой программы исследований упругих и неупругих нуклон-нуклонных столкновений<sup>/1/</sup>, программы, которая в ближайшее время вряд ли будет выполнена. В связи с этим, по-видимому, целесообразно, сделав некоторые предположения относительно процессов мезообразования, провести фазовый анализ по несколько менее общей программе. Такой анализ  $pp$ -данных при энергии 660 Мэв в предположении справедливости резонансной модели Мандельштама для неупругих столкновений при этой энергии был недавно выполнен Р.Я. Зулкарнеевым и И.Н. Силиным<sup>/2/</sup>. Анализ дал весьма интересный результат. Был найден единственный набор фазовых сдвигов с разумным  $\chi^2$ .

Начиная совместный фазовый анализ при энергии 660 Мэв, авторы понимали, что при той сравнительно небольшой экспериментальной информации, которой они располагали, вряд ли можно будет восстановить амплитуду нуклон-нуклонного рассеяния столь же однозначно, как это было сделано ранее в области энергий до порога мезообразования<sup>/3,4/</sup>. Тем не менее можно надеяться, что полученные результаты окажутся полезными прежде всего при планировании будущих экспериментов.

На первом этапе анализа поиск решений производился при  $l_{max} = 4$ , т.е. начиная с моментов  $l = 5$ , амплитуда бралась в одномезонном приближении. Релятивистскими эффектами при учете кулона пренебрегали. В соответствии с результатами работы<sup>/2/</sup> считалось, что мезообразование идет, в основном, из состояний с полным изотопическим спином  $t = 1$ , состояний  ${}^3P_{0,1,2}$  и  ${}^1D_2$ , а во всех других случаях влиянием неупругих столкновений можно пренебречь. Фазовые сдвиги волн с  $t = 1$  были взяты из работы<sup>/2/</sup> и считались постоянными. Фазовые сдвиги волн с  $t = 0$  находились из условия минимума суммы квадратов взвешенных отклонений расчетных кривых от экспериментальных  $pp$ -данных /Табл. 1/.

На первом этапе было сделано 70 поисков решений со случайных начальных условий. При этом найдено четыре решения с  $\chi^2 = 44,6$ ; 42,0; 42,7; 48,3 при  $\overline{\chi^2} = 18$ . Каждое из найденных решений повторялось по крайней мере два-три раза.

Большая величина отношения  $\chi^2/\overline{\chi^2}$  и заметные ошибки фазовых сдвигов волн  $t = 1$ , которые на первом этапе не учитывались, заставили уточнить все найденные решения, варьируя фазовые сдвиги всех волн и константу связи  $l^2/26$  параметров/. Уточненные решения имели  $\chi^2 = 80, 74, 76, 82$  /Табл. 2/, при  $\overline{\chi^2} = 44$ . Таким образом отношение  $\chi^2/\overline{\chi^2}$  хотя несколько и уменьшилось /  $\chi^2/\overline{\chi^2} = 1,7-1,8$  /, но по-прежнему оставалось неудовлетворительным. Проверка показала, что наибольший вклад в  $\chi^2$  для всех решений давали точки  $R_{pp}/72^0$  и  $C_{nn}^{pp}/54^0$  /в сумме от 11 до 16 единиц/. При этом вклад от  $R_{pp}/72^0$  оставался примерно одинаково высоким /6,5-8,0 единиц/ для всех решений, в то время как вклад от  $C_{nn}^{pp}/54^0$  падал от девяти единиц во втором до трех единиц в четвертом решении. При уточнении была также сделана попытка опре-

<sup>x/</sup> Последнее, по-видимому, указывает на то, что в исходных предположениях налагаются какие-то достаточно жесткие ограничения.

делить мнимые части фазовых сдвигов  ${}^3S_1$  и  ${}^3D_1$  и параметра смешивания  $\epsilon_1$ . Эта попытка, однако, не увенчалась успехом, указанные параметры были найдены с ошибками более ста процентов.

По найденным фазовым сдвигам были рассчитаны элементы матрицы перехода и зависимости экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния /рис. 1-4/.

В настоящее время вряд ли можно выбрать из найденных решений наиболее достоверное. Следует, однако, заметить, что только в решении 4 /Табл. 2/ наблюдается одна характерная черта наиболее вероятного в области энергий до порога мезообразования фазового набора 1<sup>/4/</sup>. Это единственное решение, которое указывает на то, что в рассматриваемом случае, так же как и в области энергий до порога мезообразования<sup>/4/</sup>,  $p_r$ -рассеяние на углы, близкие к  $180^\circ$ , происходит только в синглетном состоянии  $p_r$ -системы. Правда, отрицательный знак  $A_{np}$  вблизи угла  $90^\circ$  плохо согласуется с предсказаниями первого набора. Интересно заметить также, что в отличие от остальных

Т а б л и ц а 1

Данные, использованные при проведении фазового анализа при энергии 660 Мэв

Измеренная величина	Энергия, при которой велись измерения, Мэв.	Число точек	Литературный источник
$\sigma_{pp}$	660	12	5,6
$P_{pp}$	635	14	7
$D_{pp}$	635	5	8
$R_{pp}$	635	5	9
$C_{nn}^{pp}$	660	3	10
$C_{kp}^{pp}$	660	I	II
$\sigma_t^{pp}$	660	I	12
$\sigma_{np}$	630	19	13,14
$P_{np}$	635	8	15
$\sigma_t^{np}$	580	I	16
$\frac{\sigma_{nd}(0)}{\sigma_{np}(0)}$	630	I	

Т а б л и ц а 2

Фазовые сдвиги волн в градусах /параметризация Стаппа и др.<sup>[17]</sup> / при  $T = 660$  Мэв

	1	2	3	4	
$t^2$	0,078±0,006	0,076±0,006	0,074±0,006	0,078±0,005	
$^1s_0$	-20,498±7,824	-31,940±4,700	-22,989±7,887	-17,108±5,611	} $R_\delta$
$^3s_1$	-12,505±12,61	27,739±5,249	28,710±6,550	17,538±4,831	
$^3P_0$	-32,463±6,279	-37,732±6,588	-33,215±6,085	-37,133±7,687	
$^1P_1$	15,081±7,378	12,092±5,007	13,641±6,744	-15,242±4,414	
$^3P_1$	-13,316±3,824	-16,736±5,183	-14,115±3,642	-16,877±4,748	
$^3P_2$	64,451±17,44	41,512±5,434	61,919±14,93	56,480±8,269	
$\epsilon_1$	24,477±7,393	27,667±6,140	-7,355 ± 3,694	- 5,072±6,615	
$^3D_1$	-17,991±6,868	-11,150±3,817	-8,946±2,396	-28,275±2,456	
$^1D_2$	2,573±3,102	2,737±3,823	4,499±2,798	6,188±2,064	
$^3D_2$	22,095±10,127	15,223±6,950	8,913±4,662	- 4,620±5,226	
$^3D_3$	4,978±4,584	- 7,411±2,825	3,945±3,155	- 6,101±2,414	
$\epsilon_2$	1,034±5,082	- 2,479±3,077	- 0,719±4,888	0,646±3,353	
$^3F_2$	- 5,076±0,956	- 7,138±1,172	- 5,104±1,072	- 5,591±0,987	
$^1F_3$	3,416±2,214	5,031±2,870	5,906±2,762	-14,844±2,683	
$^3F_3$	3,943±1,712	1,980±1,295	3,065±1,286	2,200±1,311	
$^3F_4$	-2,470±1,079	-3,881±0,685	-2,066±1,036	- 3,743±0,842	
$\epsilon_3$	16,793±1,673	12,465±2,756	-19,220±1,858	13,404±1,594	
$^3G_3$	- 4,887±1,532	- 3,736±1,105	- 3,583±2,008	-12,453±1,539	
$^1G_4$	8,482±0,855	8,067±0,841	8,220±0,921	7,850±0,995	
$^3G_4$	5,716±2,753	14,705±2,876	15,501±1,978	15,654±1,613	
$^3G_5$	1,200±2,703	6,041±1,544	5,316±1,383	- 7,051±2,273	
$^3P_0$	- 2,771±7,966	3,368±8,163	-1,550±7,083	8,321±10,804	} $I_\delta$
$^3P_1$	- 1,071±4,173	- 0,565±3,373	-1,638±3,598	- 1,777±3,310	
$^3P_2$	34,532±6,661	17,632±4,149	32,323±6,255	25,347±4,336	
$^1D_2$	18,679±5,372	23,818±7,357	18,171±4,924	16,566±4,494	
$\chi^2$	80,0	74,0	76,0	82,0	

Т а б л и ц а 3

Данные, использованные для определения фазовых сдвигов при энергии 380 Мэв

Измеренная величина	Энергия, при которой производились измерения, Мэв	Число точек	Литературный источник
$\sigma_{pp}$	380	26	19
$R_{pp}$	415	7	20
$D_{pp}$	382	I	21
$C_{nn}^{pp}$	382	I	22
$C_{kp}^{pp}$	382	I	22
$\sigma_{np}$	400	23	20
$R_{np}$	350	12	20

решений четвертое дает отрицательную вещественную часть амплитуды  $pp$ -рассеяния вперед. Последнее подтверждается результатами, полученными ранее в <sup>18/</sup> при анализе рассеяния протонов на ядрах углерода и  $pp$ -рассеяния в области малых углов.

Для того, чтобы проследить насколько хорошо найденные решения соответствуют фазовым сдвигам набора 1 в области меньших энергий, была сделана попытка провести фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния при энергии 380 Мэв, опираясь на интерполированные значения фазовых сдвигов. Использованные данные приведены в таблице 3. Полученные решения достаточно удовлетворительно подтверждают монотонный характер зависимости  $\delta(T)$ . Расчетные кривые экспериментально наблюдаемых характеристик рассеяния приведены на рис. 5-8.

Как уже указывалось, не все экспериментальные данные, полученные при энергии 680 Мэв, одинаково хорошо описываются найденными решениями. В связи с этим было сделано уточнение решений после исключения наиболее далеко "выскакивающих" точек ( $R_{pp}(72^\circ)$  и  $D_{pp}(108^\circ)$ ). При этом найдено, что решения меняются не очень сильно, а  $\chi^2$  падает до 60 единиц.

В заключение авторам приятно поблагодарить В.П. Джелепова за обсуждение результатов и С.М. Биленького, Р.М. Рындина, Л.С. Ажгирея и Ю.П. Кумекина за дискуссию по вопросам, возникавшим при выполнении работы.

Т а б л и ц а 4

Фазовые сдвиги волн при  $\Gamma = 380$  Мэв /параметризация Стаппа и др. /17/ /

	$l_{max} = 3$	$l_{max} = 4$
$\chi^2$	71,2	58,4
$f^2$	0,049 $\pm$ 0,005	0,065 $\pm$ 0,008
$^1S_0$	- 4,53 $\pm$ 1,71	-6, 45 $\pm$ 2,26
$^3S_1$	- 10,67 $\pm$ 4,89	- 14,13 $\pm$ 3,73
$^3P_0$	- 20,80 $\pm$ 4,88	- 17,30 $\pm$ 10,59
$^1P_1$	- 25,43 $\pm$ 5,03	- 21,87 $\pm$ 16,62
$^3P_1$	- 14,93 $\pm$ 2,23	- 15,35 $\pm$ 4, 19
$^3P_2$	24,94 $\pm$ 1,30	25,88 $\pm$ 1,86
$\epsilon_1$	34,18 $\pm$ 2,70	34,76 $\pm$ 4,75
$^3D_1$	- 21,03 $\pm$ 2,45	- 20,88 $\pm$ 3,51
$^1D_2$	14,16 $\pm$ 0,62	13,94 $\pm$ 0,76
$^3D_2$	1,84 $\pm$ 3,43	0,08 $\pm$ 10,14
$^3D_3$	8,50 $\pm$ 2,40	6,47 $\pm$ 2,34
$\epsilon_2$	- 7,70 $\pm$ 0,97	- 6,89 $\pm$ 2,51
$^3F_2$	0,06 $\pm$ 1,05	- 0,11 $\pm$ 1,76
$^1F_3$	- 0,49 $\pm$ 0,91	- 4,60 $\pm$ 7,08
$^3F_3$	- 7,57 $\pm$ 0,59	- 7,20 $\pm$ 1,04
$^3F_4$	2,29 $\pm$ 0,59	2,07 $\pm$ 1,10
$\epsilon_3$		2,45 $\pm$ 3,31
$^3G_3$		- 5,06 $\pm$ 2,30
$^1G_4$		1,06 $\pm$ 3,07
$^3G_4$		+ 8,60 $\pm$ 4,96
$^3G_5$		- 0,70 $\pm$ 10,71

Л и т е р а т у р а

1. Л.М. Сороко. Препринт ОИЯИ Р-226, Дубна 1958.
2. Р.Я. Зилькарнеев, И.Н. Силин. Препринт ОИЯИ Д-1107 Дубна 1962 г. ЖЭТФ /в печати/.
3. Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин. ЖЭТФ 43, 692, 1962.
4. Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин. ЖЭТФ 43, 1385, 1962.
5. Н.П. Богачев, И.К. Взоров. ДАН 99, 931, 1954.
6. Н.П. Богачев. ДАН 108, 806, 1958.
7. М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ 33, 37, 1957.
8. Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ 38, 1451, 1960.
9. Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ 38, 1665, 1962.
10. Б.М. Головин, В.П. Джелепов, Р.Я. Зилькарнеев. ЖЭТФ 44, 142, 1962.
11. В.И. Никаноров, Г. Петер, А.Ф. Писарев, Х. Позе. ЖЭТФ 42, 1909, 1962.
12. В.П. Джелепов, В.И. Москалев, В. Медведь. ДАН 104, 380, 1955.
13. Н.С. Амаглобели, Ю.М. Казаринов. ЖЭТФ 37, 1587, 1962.
14. Ю.М. Казаринов, Ф. Легар, Ю.Н. Симонов. Препринт ОИЯИ Р-1962.
15. Б.М. Головин, В.П. Джелепов, В.С. Надеждин, В.И. Сатаров. ЖЭТФ 36, 433, 1959.
16. В.П. Джелепов, В.И. Сатаров, Б.М. Головин. ЖЭТФ 29, 369, 1955.
17. H.P. Stapp, T. Yrailantis, N. Metropolis, Phys. Rev. 105, 302 (1957).
18. Л.С. Ажгирей, С.Б. Нурушев. Препринт ОИЯИ Р-1188, Дубна 1962 г.
19. 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).
20. W.H. Hess, Rev. Mod. Phys. 30, 368 (1958).
20. W.H. Hess, Rev. Mod. Phys. 30, 368 (1958).
21. J. Kane, R. Stallwood, R. Sutton, I. Fox, Bull. Am. Phys. Soc. 1, 9 (1958).
22. A. Ashmore, A.N. Diddens, G.B. Huxtable, K. Skarsvag, Proc. Phys. Soc. 72, 289 (1958).

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 марта 1963 года.



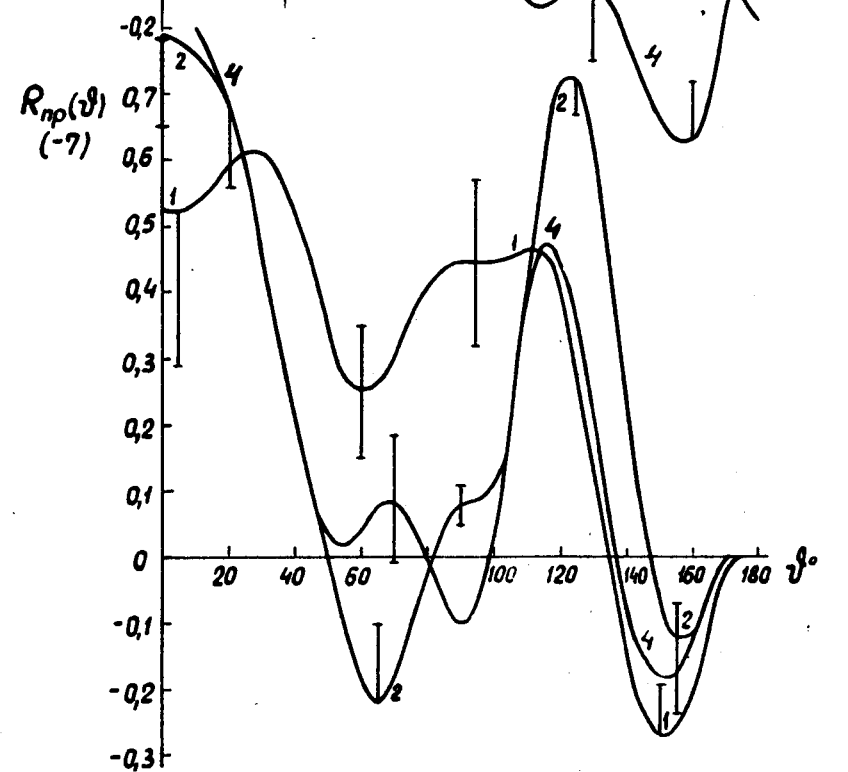
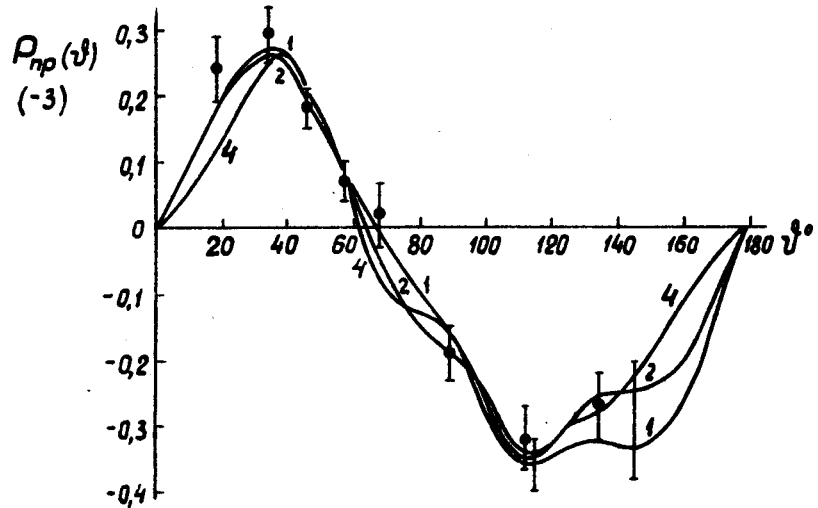
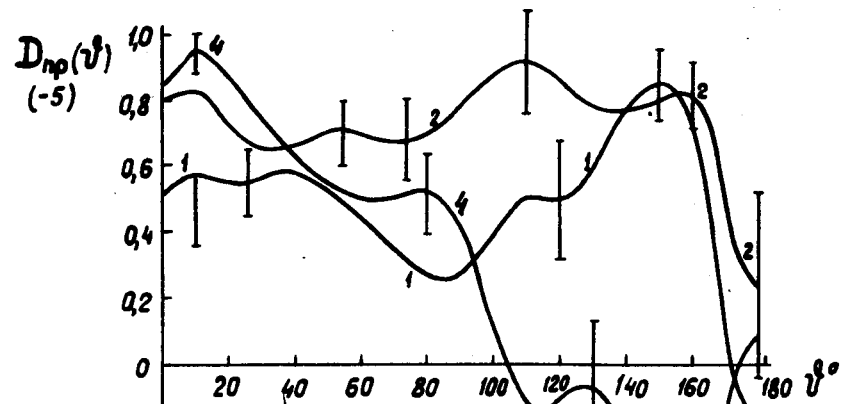
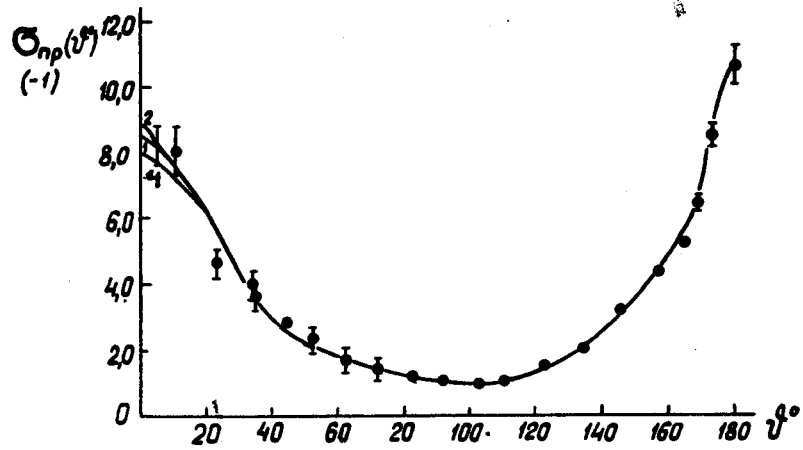


Рис. 1. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 660 Мэв, рассчитанная по фазовым сдвигам решений 1,2,4.  
 $\bullet$  - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I - коридор ошибок.

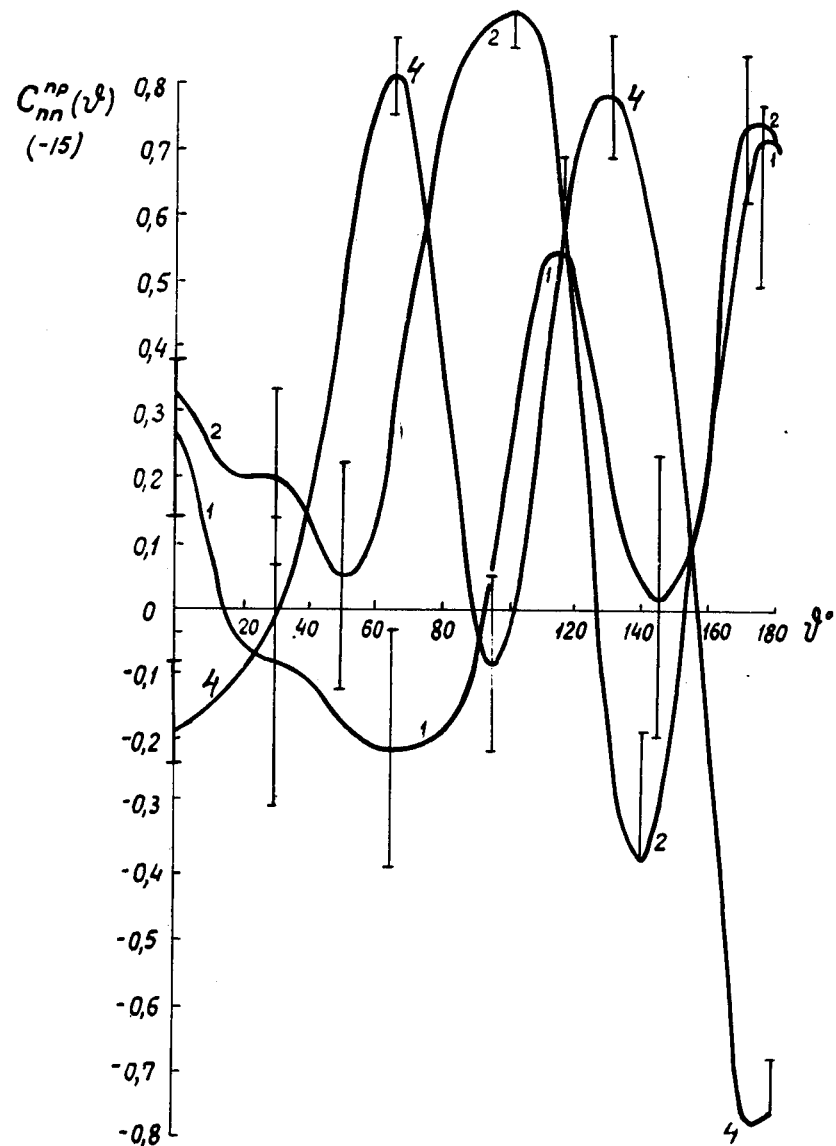
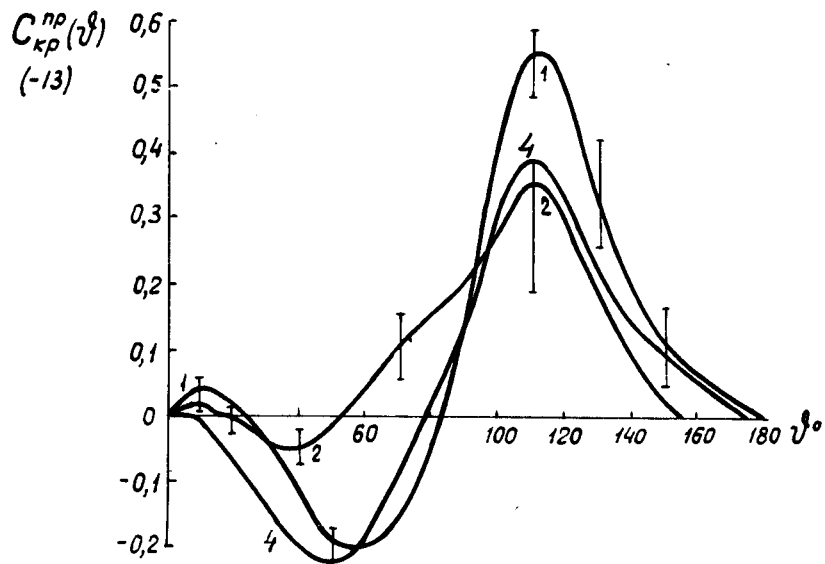
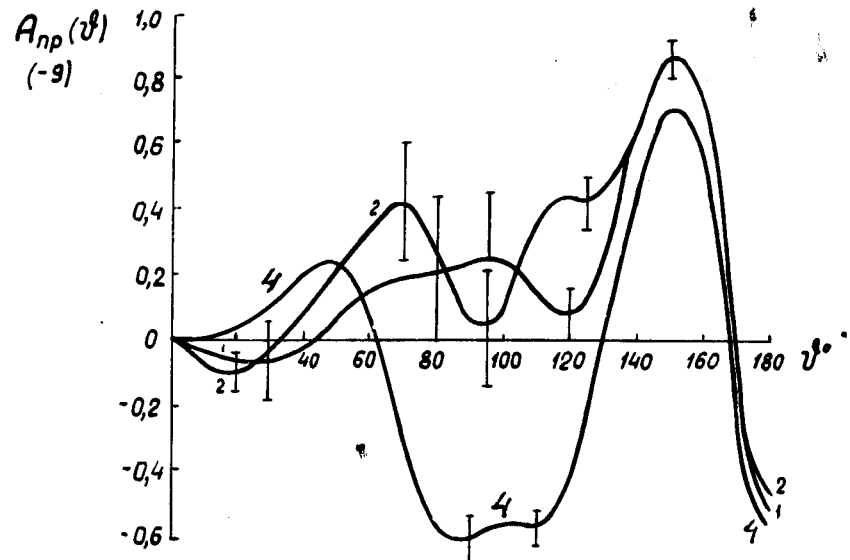


Рис. 2. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 660 Мэв, рассчитанная по фазовым сдвигам решений 1,2,4.

• - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 [ ] - коридор ошибок.

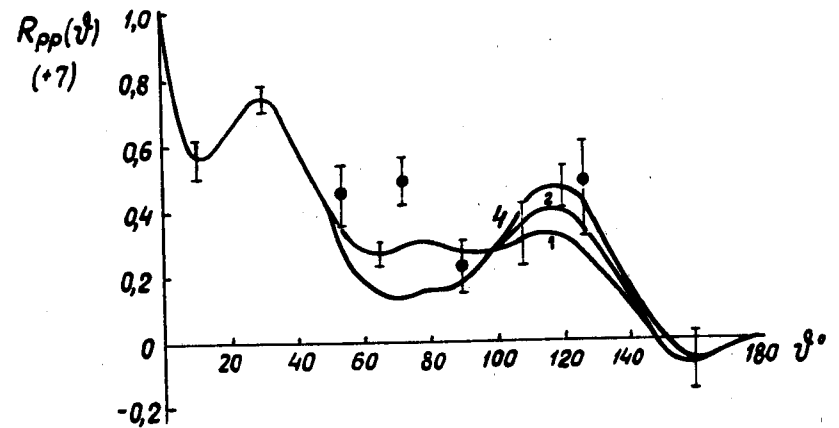
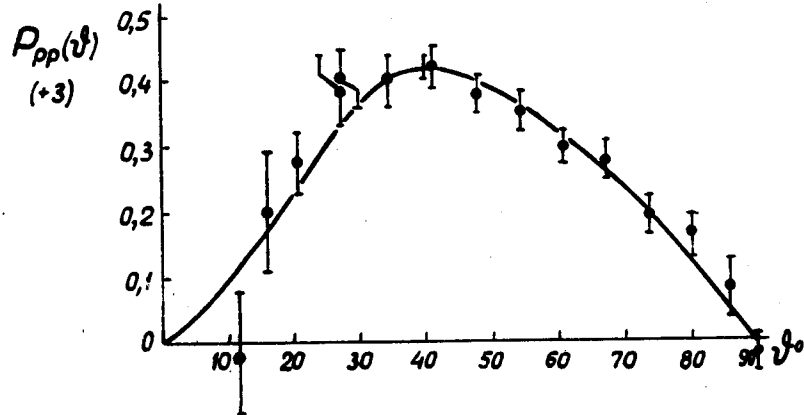
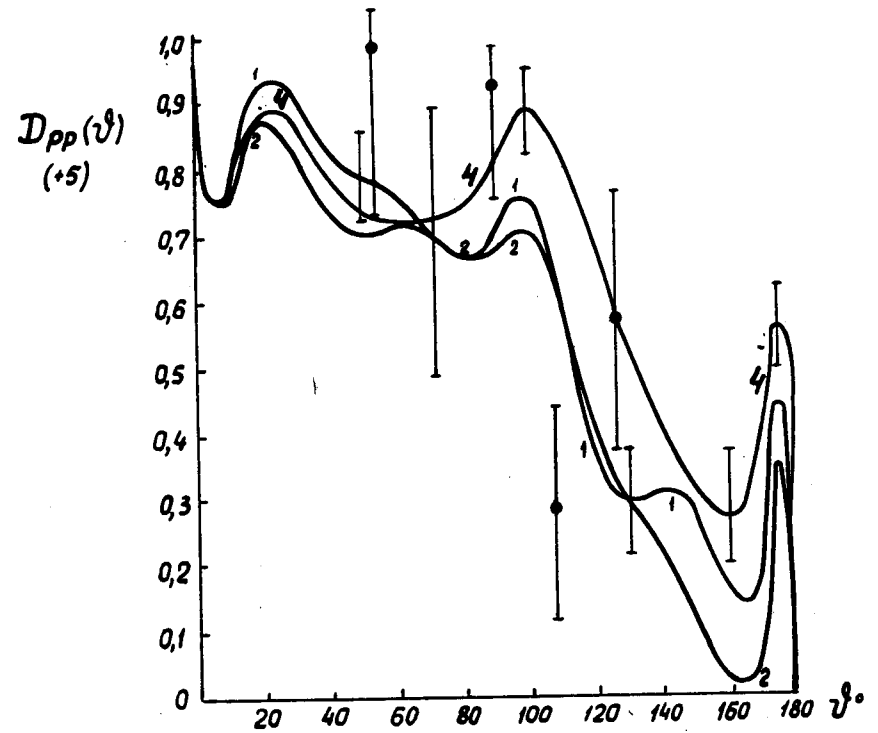
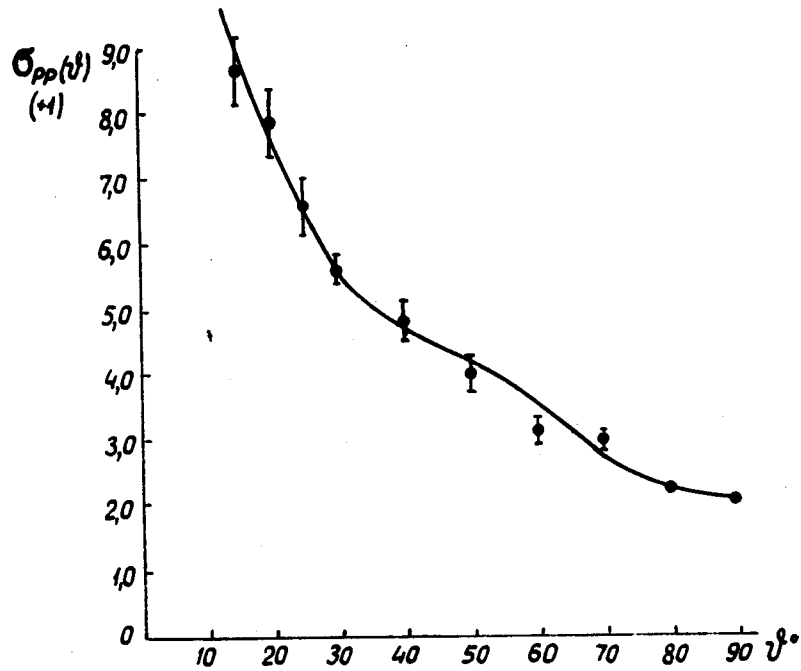


Рис. 3. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 660 Мэв, рассчитанная по фазовым сдвигам решений 1,2,4.  
 ● - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I - коридор ошибок.

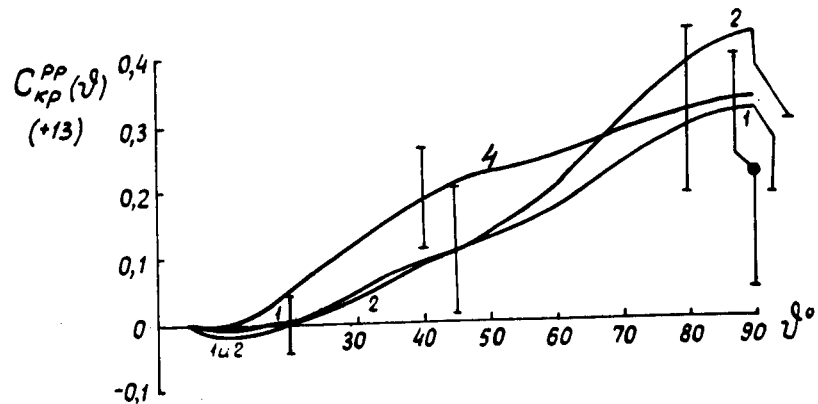
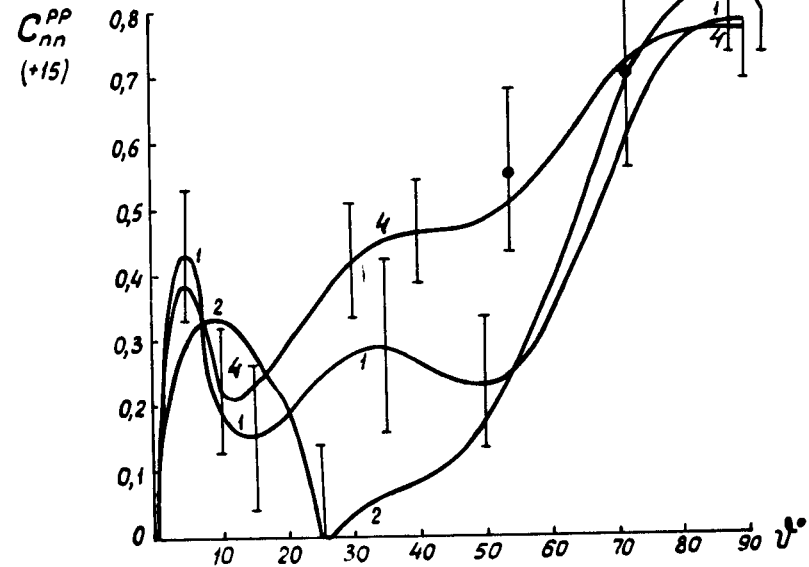
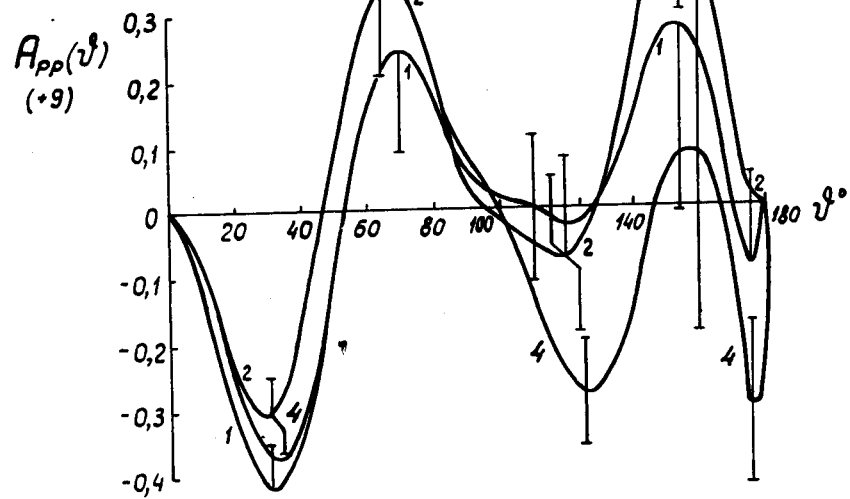


Рис. 4. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 660 Мэв, рассчитанная по фазовым сдвигам решений 1,2,4.  
 ● - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I - коридор ошибок.

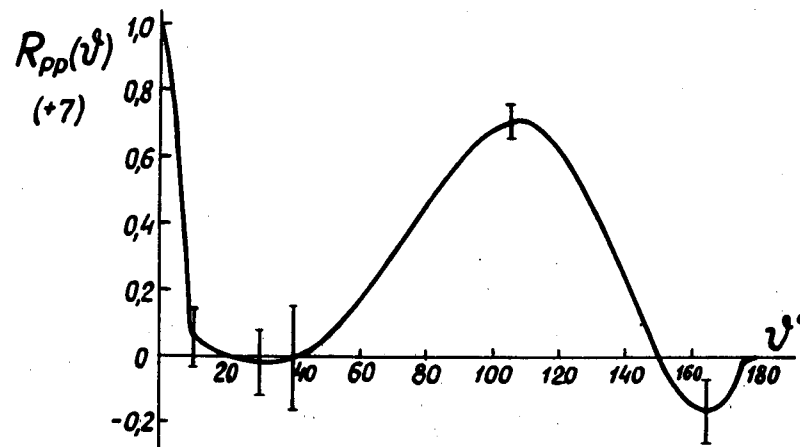
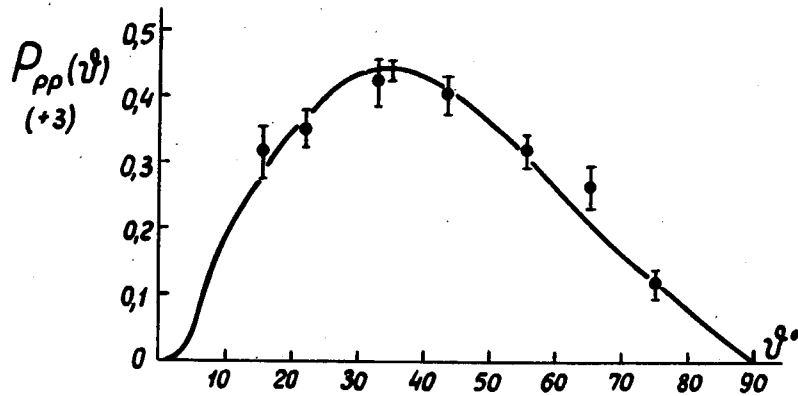
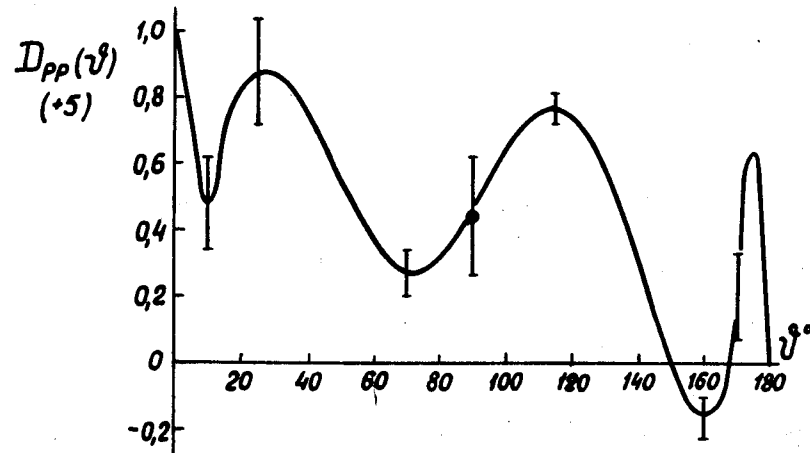
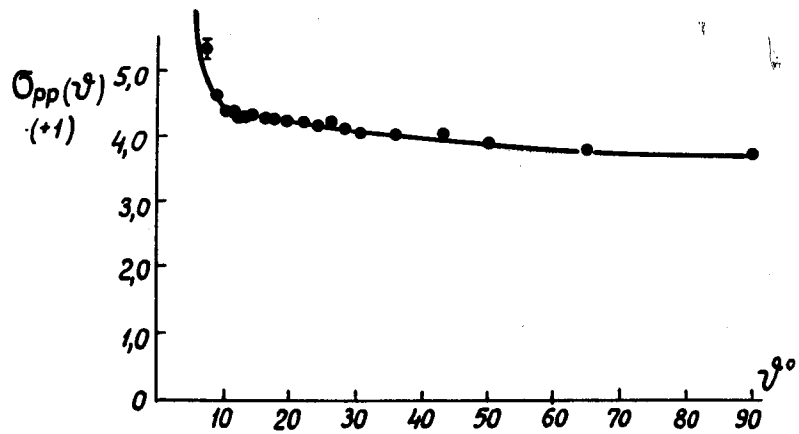


Рис. 5. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 380 Мэв, рассчитанная по найденным фазовым сдвигам.

● — экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I — коридор ошибок.

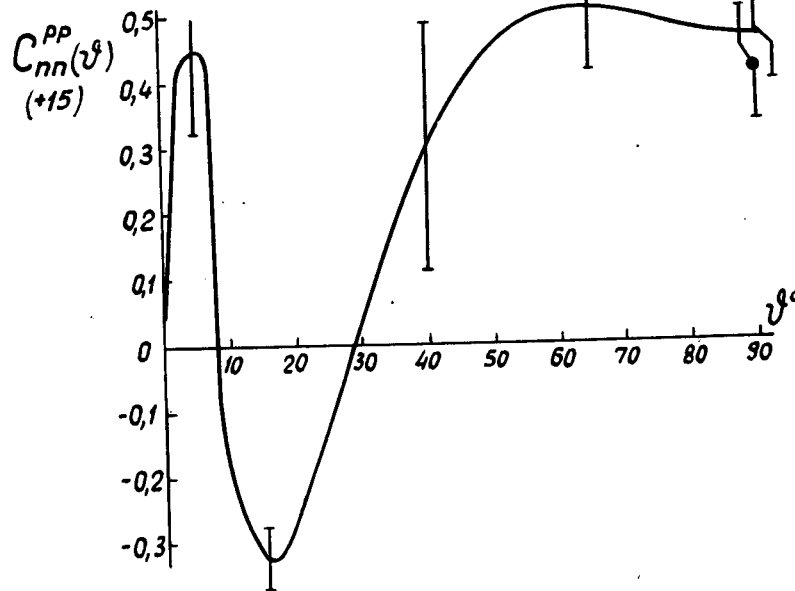
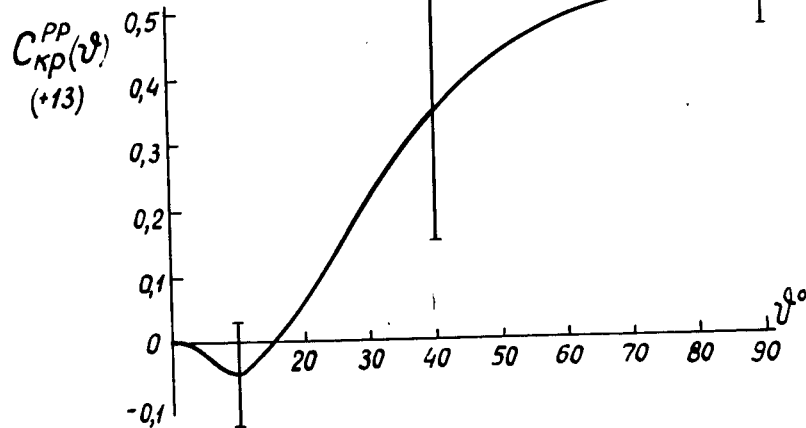
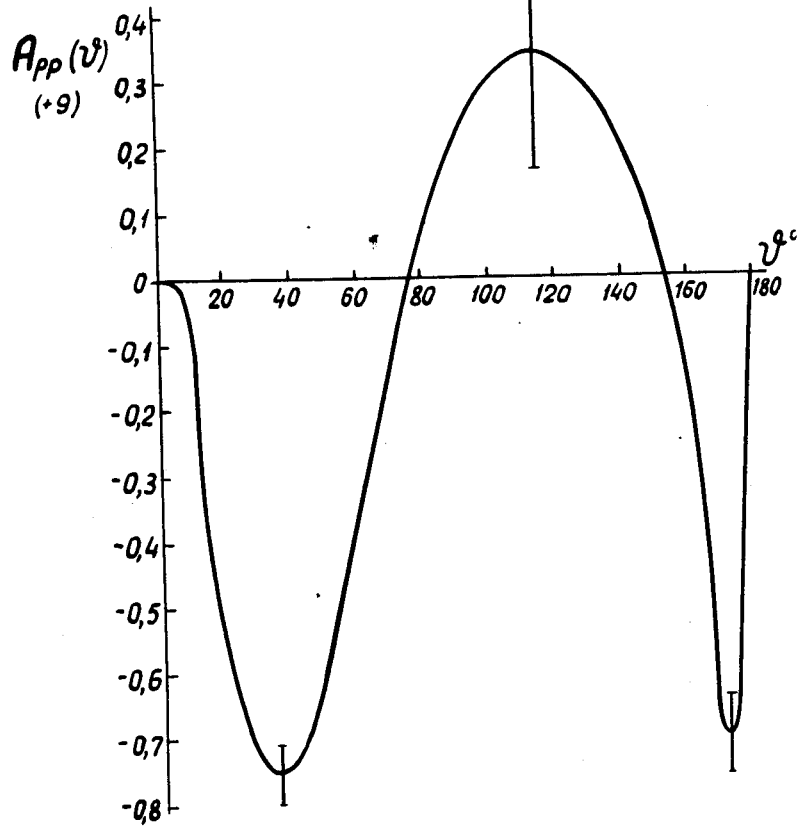


Рис. 6. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 380 Мэв, рассчитанная по найденным фазовым сдвигам.  
 ● - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I - коридор ошибок.

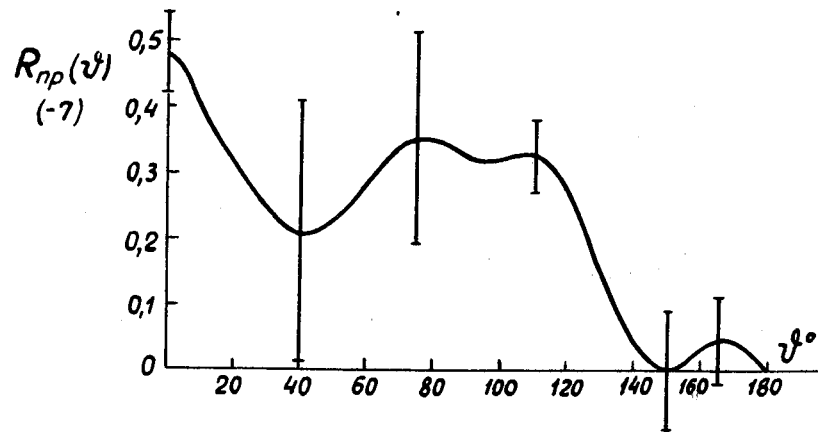
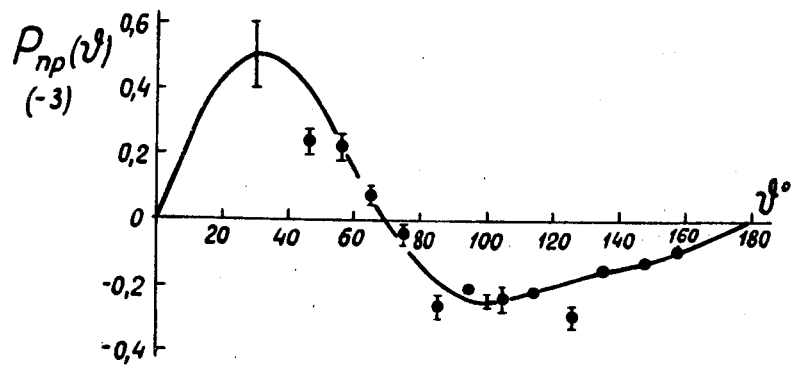
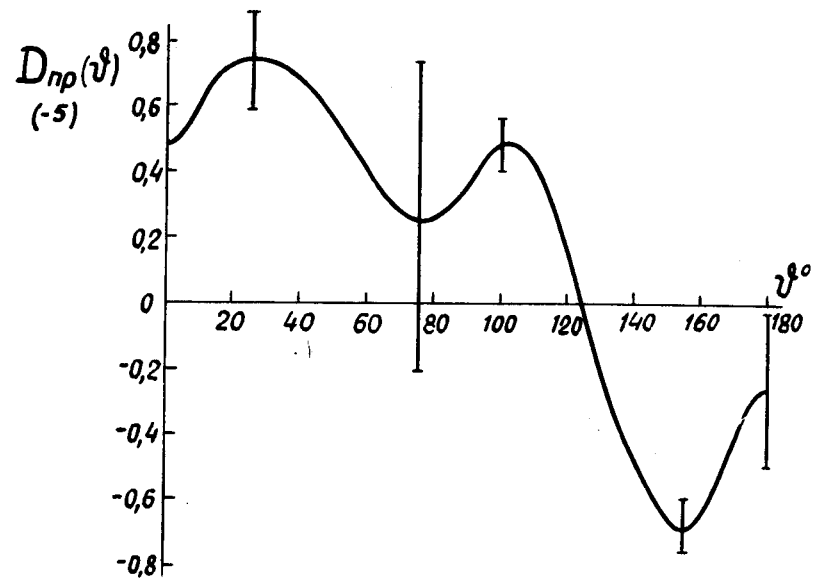
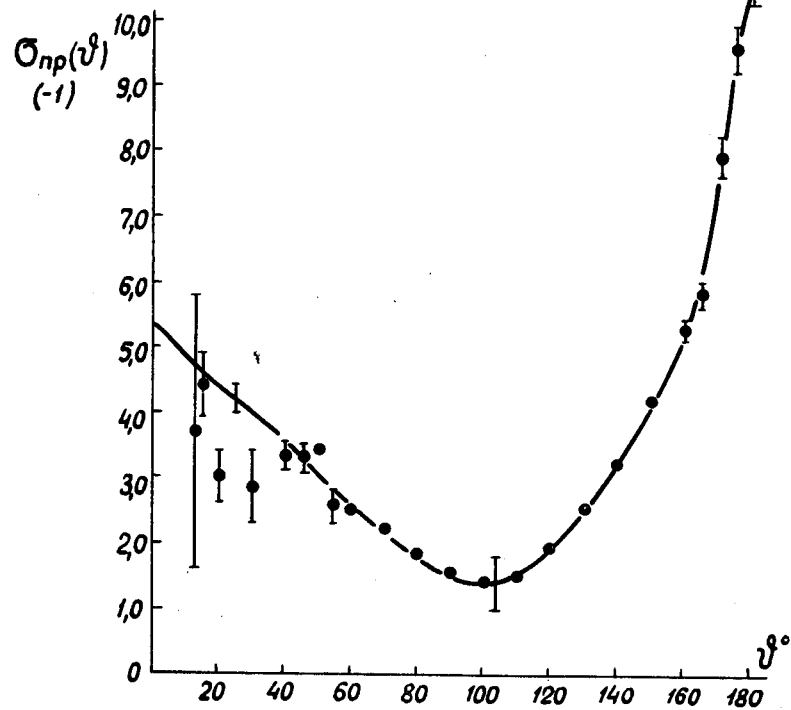


Рис. 7. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 380 Мэв, рассчитанная по найденным фазовым сдвигам.  
 $\bullet$  - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 $I$  - коридор ошибок.

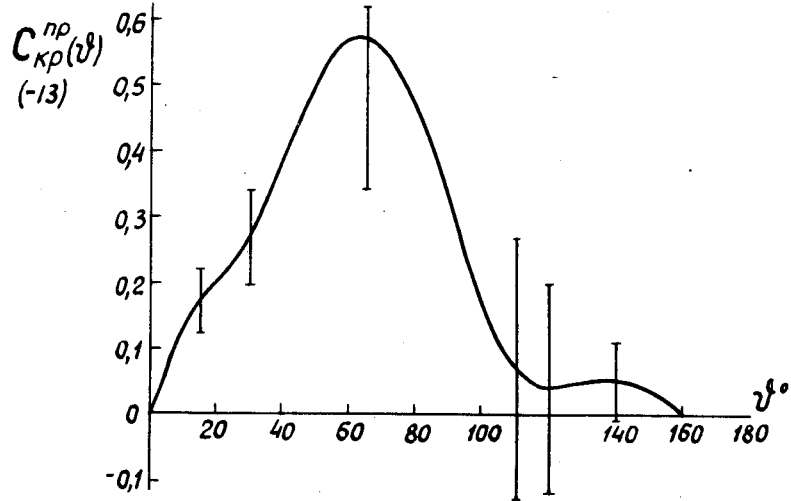
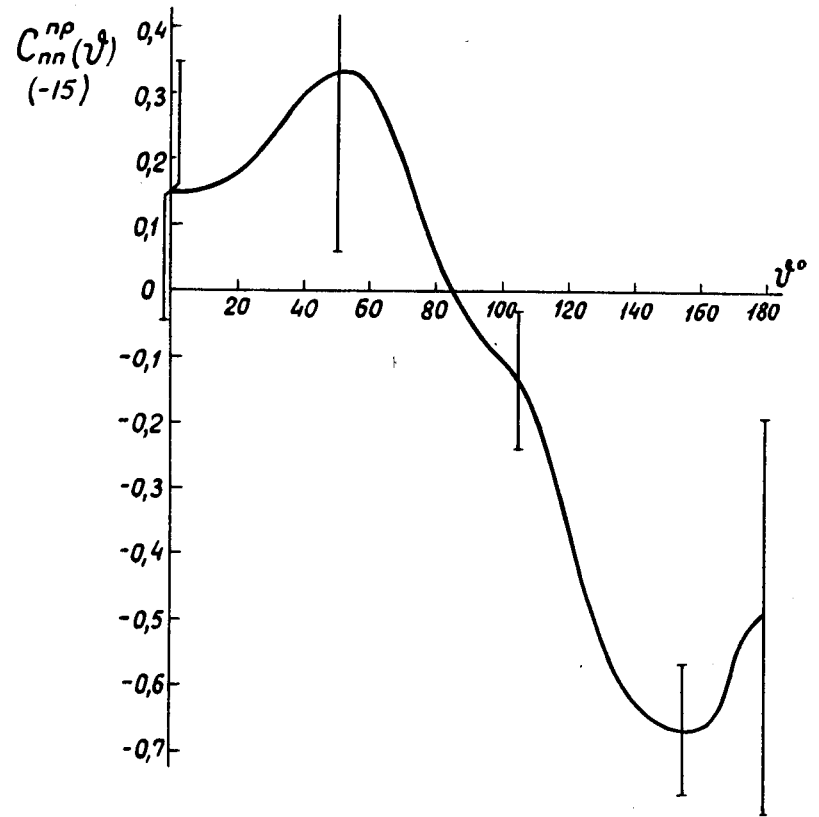
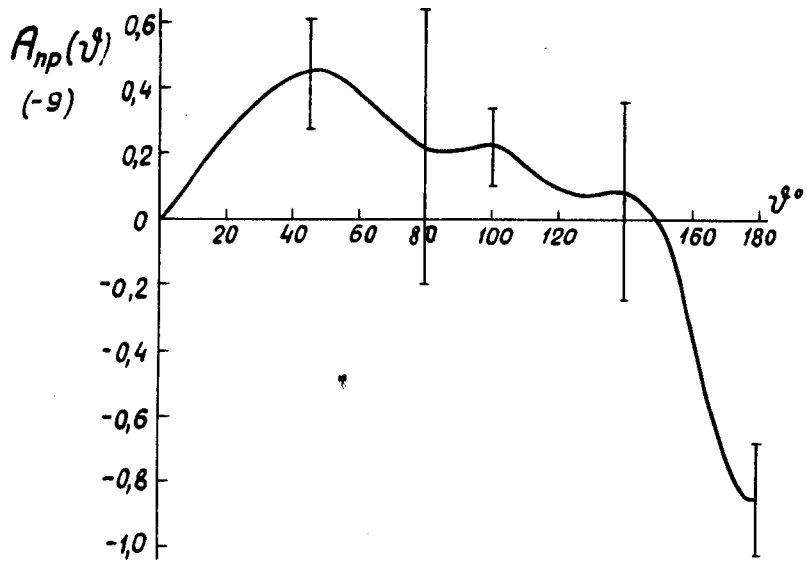


Рис. 8. Зависимость экспериментально наблюдаемых величин от угла рассеяния при энергии 380 Мэв, рассчитанная по найденным фазовым сдвигам.  
 \* - экспериментальные данные, использованные для проведения анализа.  
 I - коридор ошибок.