

СЗ46

K-66

P - 325

С.М.Коренченко

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
С ВОДОРОДОМ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ  
ОТ 240 ДО 370 МЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель  
член-корреспондент АН СССР  
профессор

Б.Понтекорво

Дубна, 1959 год

C346

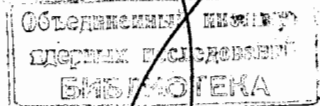
K-66

P - 325

С.М.Коренченко

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
С ВОДОРОДОМ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ  
ОТ 240 ДО 370 МЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук



Научный руководитель  
член-корреспондент АН СССР  
профессор

Б.Понтекорво

По современным представлениям ядерные силы в значительной степени обусловлены  $\pi$ -мезонным полем. Поэтому естественен интерес к ядерным процессам с участием  $\pi$ -мезонов. Среди этих процессов рассеяние  $\pi$ -мезонов на водороде, наряду с фоторождением, является, пожалуй, наиболее простым и, вследствие этого, лучше поддающимся теоретическому анализу.

Изучение рассеяния  $\pi^+$ -мезонов на водороде в области энергий до 360 Мэв<sup>1-3</sup> позволило довольно полно установить основные черты взаимодействия  $\pi$ -мезонов с нуклонами в состояниях с изотопическим спином  $T=3/2$ . О взаимодействии  $\pi$ -мезонов с нуклонами в состояниях с  $T=1/2$  вплоть до 1955 г. было известно очень мало. Состояния с  $T=1/2$  реализуются лишь при рассеянии отрицательных  $\pi$ -мезонов. Определение вклада этих состояний в области энергий вблизи "резонансной" практически невозможно из-за подавляющего преобладания взаимодействия в состоянии с  $T=3/2$ ,  $J=3/2$ . Можно было надеяться, что при больших энергиях  $\pi^-$ -мезонов удастся получить более определенные сведения о взаимодействии в состояниях с  $T=1/2$ . В связи с этим автором диссертации совместно с В.Г. Зиновым в 1955-58 г.г. на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований было проведено систематическое изучение взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с водородом в области энергий 240-370 Мэв.

Были измерены дифференциальные сечения упругого  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$  / и обменного  $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$  / рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 240, 270, 307 и 333 Мэв.

Наряду с этим были измерены дифференциальные сечения образования на водороде под углом  $80^\circ$  в лабораторной системе координат  $\sim 106^\circ$  с.д.м./заряженных  $\pi^-$ -мезонов  $\pi^-$ -мезонами с энергией 307, 333, 370 Мэв. Ранее никаких сведений о процессах рождения при энергиях меньше 500 Мэв не имелось.

Результаты этих работ <sup>4-9</sup> положены в основу диссертации.

1.

Дифференциальные сечения измерялись с помощью сцинтилляционных счетчиков. Использовалась многоканальная электронная система из схем совпадений  $\tau \sim 1,2 \cdot 10^{-8}$  сек/ и антисовпадений  $\tau \sim 2,2 \cdot 10^{-8}$  сек/, выполненных на германиевых диодах. В качестве мишени служил жидкий водород, который помещался в пенополистироловый сосуд.

Полученные после введения всех поправок дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов, а также дифференциальные сечения для образования  $\gamma$ -квантов при обменном рассеянии показаны на рис. 1-4.

Угловые распределения  $\pi^-$ -мезонов и  $\gamma$ -квантов при всех энергиях удовлетворительно аппроксимируются кривой вида:  $A_0 + A_1 P_1(\cos \vartheta) + A_2 P_2(\cos \vartheta)$ , где  $P_1$  и  $P_2$  - полиномы Лежандра 1-го и 2-го порядка. Значения коэффициентов  $A_i$ , найденные с помощью метода наименьших квадратов, приведены в таблицах 1, 2.

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты углового распределения  $\pi^-$ -мезонов, упруго рассеянных на водороде,  $A_i^-$ , /в  $10^{-27}$  см<sup>2</sup> стерад<sup>-1</sup> /.

$E_{\pi^-}$ , Мэв	$A_0^-$	$A_1^-$	$A_2^-$	$\sigma_i^- = 4\pi A_i^- / 10^{-27}$ см <sup>2</sup> /
240	1,20±0,06	0,17±0,11	0,89±0,15	15,1±0,8
270	0,99±0,05	0,21±0,09	0,74±0,12	12,4±0,6
307	0,91±0,06	0,38±0,11	0,72±0,11	11,4±0,8
333	0,82±0,05	0,32±0,06	0,57±0,10	10,3±0,6

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты углового распределения  $\gamma$ -квантов,  $A_i^\gamma$ , / в  $10^{-27}$  см<sup>2</sup> стерад<sup>-1</sup> /

$E_{\gamma}$ , Мэв	$A_0^\gamma$	$A_1^\gamma$	$A_2^\gamma$
240	4,79±0,21	2,54±0,39	2,18±0,47
270	3,79±0,18	2,41±0,32	2,07±0,37
307	2,85±0,16	2,58±0,33	1,77±0,32
333	2,87±0,17	2,81±0,32	1,44±0,34

Коэффициенты углового распределения  $\pi^0$ -мезонов,  $A_i^0$ , определяемые из коэффициентов  $A_i^\gamma$ , даны в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты углового распределения  $\pi^0$ -мезонов,  $A_i^0$ , /в  $10^{-27}$  см<sup>2</sup> стерад<sup>-1</sup> /

$E_{\pi^0}$ , Мэв	$A_0^0$	$A_1^0$	$A_2^0$	$\sigma_i^0 = 4\pi A_i^0 / 10^{-27}$ см <sup>2</sup> /
240	2,39±0,11	1,70±0,26	2,07±0,45	30,0±1,4
270	1,90±0,09	1,57±0,21	1,86±0,33	23,9±1,1
307	1,42±0,08	1,64±0,21	1,51±0,27	17,8±1,0
333	1,43±0,09	1,76±0,20	1,19±0,28	18,0±1,1

В последней колонке таблиц 1 и 3 приведены полные сечения упругого и обменного рассеяния, получаемые при интегрировании соответствующих

угловых распределений.

11.

С помощью быстродействующей счетной электронной машины "Стрела" был сделан фазовый анализ данных по рассеянию отрицательных и положительных  $^{1,3} \pi^-$  мезонов на водороде при энергии 220<sup>10</sup>, 240, 270, 307, 333 Мэв.

Для того, чтобы выразить дифференциальные сечения упругого и обменного рассеяния  $\pi^-$  мезонов через фазовые сдвиги, использовался формализм изотопического спина, основанный на гипотезе о зарядовой независимости ядерных сил.

Анализ производился как в предположении, что в рассеянии участвуют только  $S^-$  и  $P^-$  волны /  $SP^-$  анализ/, так и в предположении, что в рассеянии участвуют  $S^-$ ,  $P^-$  и  $D^-$  волны /  $SPD^-$  анализ/. Фазовые сдвиги вычислялись с помощью метода наименьших квадратов.

В качестве исходных значений фазовых сдвигов в состояниях с изотопическим спином  $T=3/2$  использовались фазовые сдвиги, полученные А.И. Мухиным и Б.Понтехорво<sup>2</sup>. Исходные фазовые сдвиги в состояниях с  $T=1/2$  получались графическим методом Ашкина<sup>11</sup>.

Только один вариант решения /таблица 4/ при  $SP^-$  анализе находится в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными при всех энергиях /рис. 1-4/. Фазовые сдвиги, даваемые этим решением, не сильно отличаются друг от друга при разных энергиях, то есть удовлетворяют условию непрерывности. Вычисленные из фаз этого решения значения поляризации протонов отдачи находятся в удовлетворительном согласии с результатами соответствующих экспериментов при энергии  $\pi^-$  мезонов 220 Мэв<sup>13</sup>. Наконец, вычисляемые из тех же фаз значения действительной части амплитуды упругого рассеяния  $\pi^-$  мезонов под  $0^\circ$  достаточно удовлетворительно согласуются с теми, которые получаются из дисперсионных соотношений /<sup>14</sup>/. Все это говорит о том, что с большой вероятностью найденное решение является правильным, и проясняет вопрос

Т а б л и ц а 4

Фазовые сдвиги, полученные при  $SP^-$  анализе /обозначения соответствуют принятым в работе Ферми и др. /<sup>12</sup> / /.

Энергия $\pi^-$ мезонов Мэв	220	240	270	307	333
$\alpha_3$	-15,8	-18,1	-20,1	-23,9	-26,5
$\alpha_{3I}$	- 2,0	- 3,1	- 7,1	-10,0	-10,5
$\alpha_{33}$	111,0	115,0	129,0	132,4	137,2
$\alpha_I$	14,0	11,2	25,7	17,1	29,2
$\alpha_{II}$	6,2	10,0	5,3	11,4	8,1
$\alpha_{I3}$	- 5,2	- 2,4	- 1,2	- 5,0	- 2,0

о поведении фазовых сдвигов в состояниях с  $T=1/2$  не только в области энергий 240-333 Мэв, но и при меньших энергиях.

Получаемое при  $SPD^-$  анализе решение, соответствующее найденному при  $SP^-$  анализе решению, можно характеризовать следующим образом: а/ фазовые сдвиги состояний с изотопическим спином  $T=3/2$  фактически не отличаются от тех, которые были получены ранее при  $SPD^-$  анализе данных по рассеянию  $\pi^+$  мезонов /<sup>2</sup> /; б/ фазовые сдвиги  $S^-$  и  $P^-$  волн в состоянии с изотопическим спином  $T=1/2$  не отличаются, с точностью до ошибок, от тех, которые получаются при  $SP^-$  анализе; в/ фазовые сдвиги  $D^-$  волн в состоянии с  $T=1/2$  малы / $\sim 1^\circ$  /.

Как уже упоминалось, результаты данных экспериментов согласуются с дисперсионными соотношениями в предположении, что константа связи мезон-нуклонного взаимодействия  $f^2 \sim 0,08-0,1$ . Это означает, что противоречия между экспериментальными данными и дисперсионными соотношениями, отмеченного Пуппи и Штангеллини /<sup>15</sup> / для энергий меньше 180 Мэв, в области энергий 240-333 Мэв не наблюдается.

Вся совокупность данных, полученных при изучении взаимодействия заряженных  $\pi$ -мезонов с водородом в области энергий 240-333 Мэв, не противоречит гипотезе о зарядовой независимости ядерных сил.

111.

Образование заряженных  $\pi$ -мезонов в  $\pi^-p$  соударениях изучалось с помощью той же аппаратуры, которая использовалась при изучении рассеяния  $\pi^-$ -мезонов. Дифференциальные сечения образования заряженных  $\pi$ -мезонов под углом  $80^\circ$  в лабораторной системе координат  $\sim 108^\circ$  с.ц.м./ в процессах  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n$  и  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$  приведены в таблице 5. Видно, что сечение быстро растет с энергией.

Т а б л и ц а 5

Образование заряженных  $\pi$ -мезонов в  $\pi^-p$  соударениях.

Энергия $\pi^-$ -мезонов, Мэв	$(d\sigma/d\omega)_{\text{рожд.}}$ / $10^{-27}$ см <sup>2</sup> стерад <sup>-1</sup> /	$4\pi \cdot (d\sigma/d\omega)_{\text{рожд.}} = 2\sigma^{+-} + 0,7\sigma^{--}$ / $10^{-27}$ см <sup>2</sup> /
307	$0,099 \pm 0,062$	$1,24 \pm 0,78$
333	$0,166 \pm 0,054$	$2,09 \pm 0,68$
370	$0,287 \pm 0,047$	$3,61 \pm 0,59$

Если предположить, что  $\pi$ -мезоны в своих процессах рождения распределены изотропно, то величина  $4\pi \cdot (d\sigma/d\omega)_{\text{рожд.}}$  есть такая сумма полных сечений этих процессов:  $2\sigma^{+-} + 0,7\sigma^{--}$ . Значения суммы  $2\sigma^{+-} + 0,7\sigma^{--}$  приведены в последней колонке таблицы 5.

Сравнение результатов экспериментов с теоретическими расчетами показывает, что все эти расчеты дают значения сечений меньше тех, которые наблюдаются на опыте. Особенно большое расхождение (больше, чем на порядок) получается при вычислениях с помощью метода Тамма-Данкова.

Используя результаты данной работы и работы / 16 /, в которой изучалось образование мезонов только в процессе  $\pi^- \rightarrow \pi^- \pi^+$ , можно грубо оценить величину сечений процесса  $\pi^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ . По-видимому, сечение этого процесса при энергиях налетающих мезонов до  $\sim 370$  Мэв мало, по сравнению с сечением процесса  $\pi^- \rightarrow \pi^- \pi^+$ . С феноменологической точки зрения это могло бы иметь место в том случае, если бы  $\pi$ -мезоны сильно взаимодействовали друг с другом в состоянии с изотопическим спином  $T=0$ .

Если сделанное предположение соответствует действительности, то сечения образования  $\pi^-$ -мезонов  $\pi^+$ -мезонами на водороде /  $\pi^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+$ ,  $\pi^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$  / должны быть малы, так как в этих реакциях не образуется системы из двух  $\pi$ -мезонов с изотопическим спином  $T=0$ . Результаты экспериментов с  $\pi^+$ -мезонами / 17 / не противоречат сделанному предположению, а скорее говорят в пользу его.

Л и т е р а т у р а

1. А.И. Мухин, Е.Б.Озеров, Б.Понтекорво, ЖЭТФ, 31, 371 /1956/
2. А.И.Мухин, Б.Понтекорво. ЖЭТФ, 31, 550 /1956/
3. Е.Л.Григорьев, Н.А.Митин. ЖЭТФ, 32, 440 /1957/
4. В.Г.Зинов, С.М.Коренченко. ЖЭТФ, 33, 335 /1957/
5. В.Г.Зинов, С.М.Коренченко. ЖЭТФ, 33, 1308 /1957/
6. В.Г.Зинов, С.М.Коренченко. ЖЭТФ, 33, 1307 /1957/
7. В.Г.Зинов, С.М.Коренченко. ЖЭТФ, 34, 301 /1958/
8. В.Г.Зинов, С.М.Коренченко. ЖЭТФ, 36, 618 /1959/
9. S.M.Korenchenko, V.G.Zinov, International Conference on Mesons and Recently Discovered Particles (Padova-Venice). September, 1957), X-23.
10. J.Ashkin, J.Blaser, F.Feiner, M.O.Stern, Phys.Rev. 105, 724 (1957).

- II. J.Ashkin, S.H.Vosko, Phys.Rev. 91, I248 (1953).
- I2. H.L.Anderson, E.Fermi, B.Martin, D.E.Nagle, Phys.Rev. 91, I55 (1953).
- I3. J.Ashkin, J.P.Blaser, A.Burger, J.Kunze, T.A.Romanowski, Annual International Conference on High Energy Physics at CERN, 1958.
- I4. H.J.Schnitzer, G.Salzman, Phys.Rev. 112, I802 (1958).
- I5. G.Puppi, A.Stanghellini, Nuovo Cimento 2, I305 (1957)
- I6. W.A.Perkins, J.C.Carls, R.W.Kenney, E.A.Knapp, V.Perez-Mendez, Bull,Am.Phys.Soc. 3, 8 (1958).
- I7. M.E.Blevins, M.M.Block, J.Leitner, Phys.Rev. 112, I287 (1958)

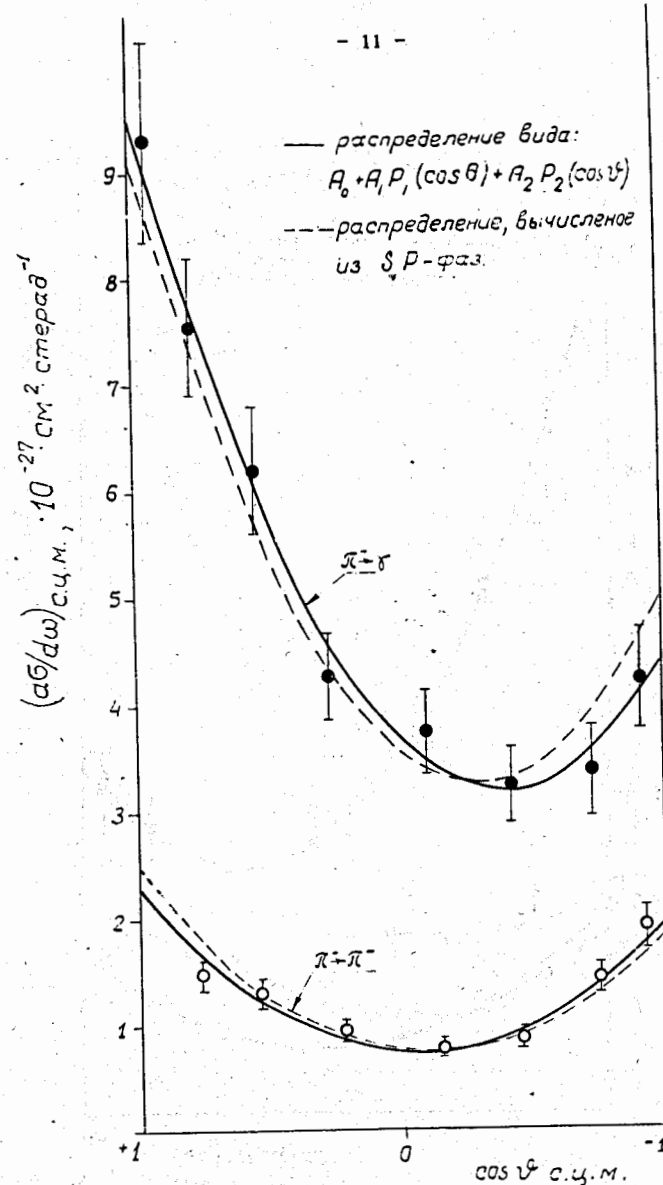


Рис. 1 Дифференциальные сечения упругого и обменного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 240 мэв на водороде.

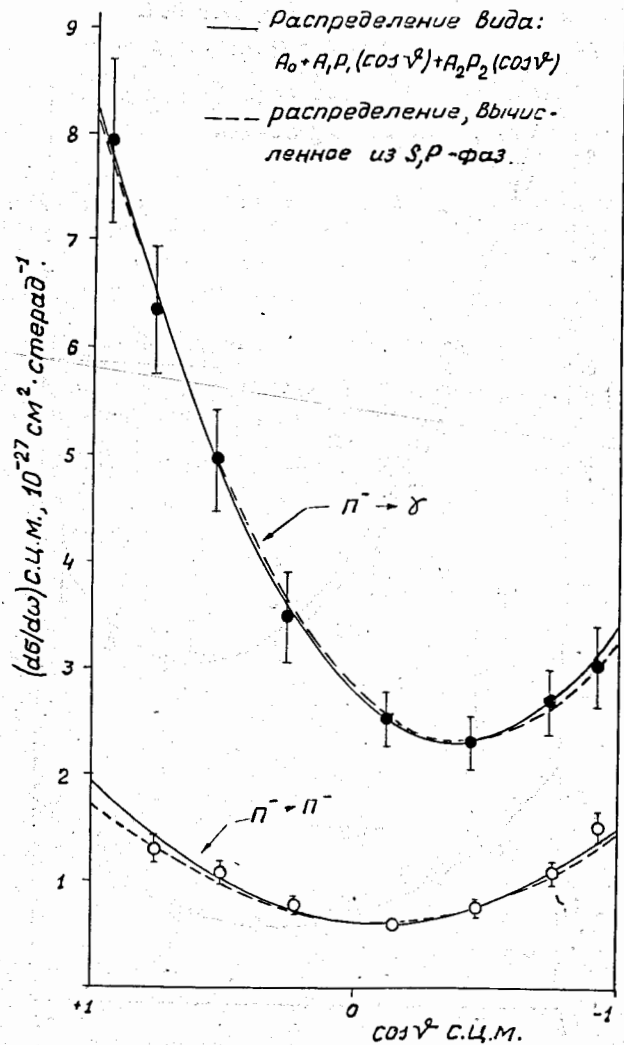


Рис 2. Дифференциальные сечения упругого и обменного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 270 МэВ на водороде.

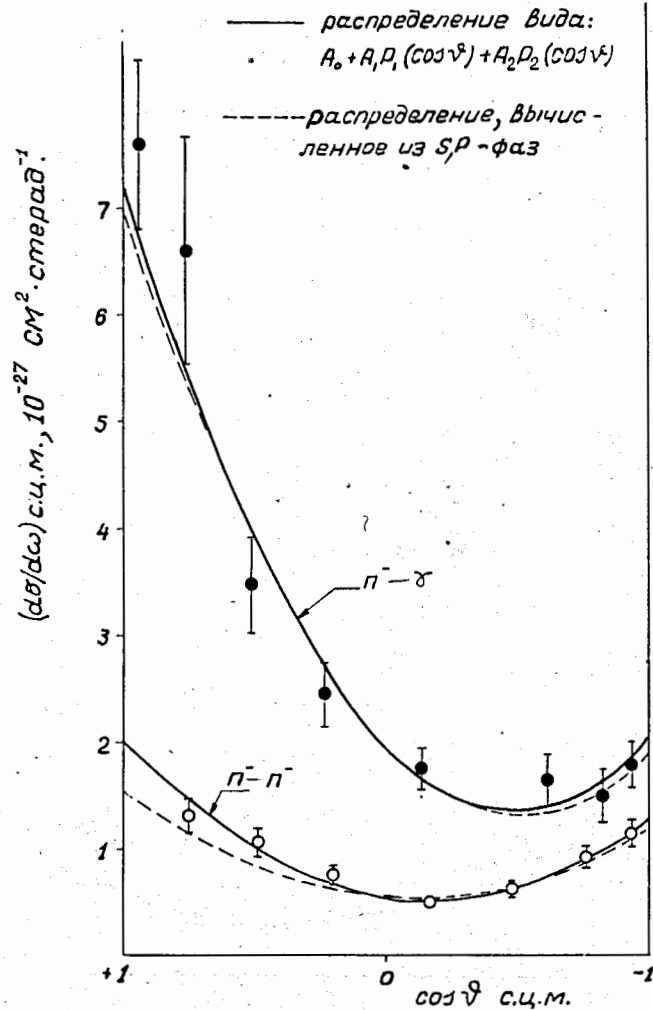


Рис. 3. Дифференциальные сечения упругого и обменного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 307 МэВ на водороде.



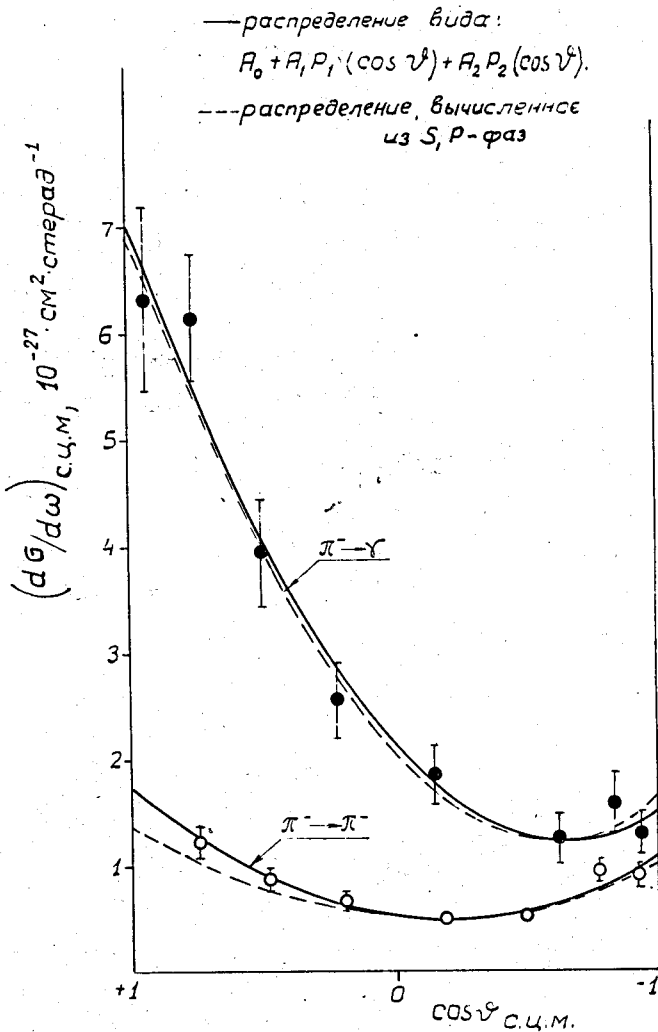


Рис. 4. Дифференциальные сечения упругого и обменного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 333 мэв на водороде.