

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P1 - 4712



В.Г.Вовченко, Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Киселев

АНАЛИЗ РР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 640 МЭВ
С УЧЕТОМ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ И УГЛОВЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ π -МЕЗОНОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1969

P1 - 4712

В.Г.Вовченко, Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Киселев

**АНАЛИЗ РР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 640 МЭВ
С УЧЕТОМ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ И УГЛОВЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ π -МЕЗОНОВ**

Направлено в ЖЭТФ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Abstract

As is known, the analysis of pp -scattering at about 640 MeV, where elastic scattering occurs with intensive meson production, has not yet been performed unambiguously^{/1-3/}.

The reason of this unambiguity is that the analysed experimental data are not sufficiently complete. In particular, not a single analysis employs as rich information on inelastic processes as it does on total cross sections. Thus, it is desirable to use the available rich information on meson production as a source of additional and independent information for cancelling the ambiguity in the results of the phase shift analysis.

Here the results of the phase shift analysis of pp -scattering at about 640 MeV performed with the account of total cross sections and angular $\pi^{+,0}$ meson distributions are presented. The calculation was performed in the framework of the resonance model of meson production^{/5/}. The following data on pp -interaction have been analysed: $\sigma(\theta)$, $P(\theta)$, $D(\theta)$, $R(\theta)$, $A(\theta)$, $C_{nn}(\theta)$.

$$C_{kp}(\pi/2), \sigma^{\text{tot}}(pp \rightarrow \pi^0 pp), \sigma^{\text{tot}}(pp \rightarrow \pi^+ d),$$

$$\sigma^{\text{tot}}(pp \rightarrow \pi^+ n, p), \frac{d}{d\Omega} \sigma(pp \rightarrow \pi^0 pp)$$

$$\text{and } \frac{d}{d\Omega} \sigma(pp \rightarrow \pi^+ np).$$

The total of 110 points were used, the S -matrices were parametrized according to ref.^{/1/}, the relationship of the imaginary parts of phase shifts with inelastic cross sections were taken into account by using the formulas ref.^{/7/}; $\chi^2 = 90$; $l_{\text{max}} = 5$.

Against our expectations the analysis did not yield unambiguous results. Foke solutions (See Table 2) with $\chi^2 = 75, 90, 90, 91$ have been found which had been described in the literature earlier^{/1-4/}. Both the solutions described very well data on meson production. The predictions for the angular dependence of elastic pp -scattering cross section show that the appropriate measurements in the angle region from 1° to 20° c.m.s. should help to find the true solution.

So it is necessary to make a conclusion that our present day knowledge of the processes of ≈ 640 MeV meson production is insufficiently complete comparing with data on proton elastic scattering. Therefore, the account of meson production turned out to be an ineffective means for cancelling the phase shift analysis ambiguity.

1. Анализ упругого pp -рассеяния в области 600-660 Мэв, где процессы мезообразования значительно усложняют наше понимание картины $N-N$ взаимодействий, выполнялся неоднократно, но его результаты остаются до сих пор неоднозначными. На раннем этапе исследований^{/1,2/}, казалось, проблема была решена однозначно. Однако с появлением новой и более точной экспериментальной информации о параметрах $P(\theta)$, $D(\theta)$, $C_{nn}(\theta)$ стало возможным, сгруппировав экспериментальный материал в узкой области 635-650 Мэв, провести анализ pp -рассеяния более строго, обратив особое внимание на вопросы однозначности решений и способов учета переходов с испусканием мезонов. В результате такого анализа^{/3,4/} было твердо установлено наличие нескольких примерно равновероятных решений^{x/}.

Ясно, что причина возникающей неоднозначности заключена в неполноте экспериментального материала и необходимы дальнейшие экспериментальные исследования. Однако постановка новых и уточнение резуль-

^{x/} Часть из них уже была известна ранее из работ^{/1,2/}.

татов старых опытов, крайне желательные для будущих анализов, далеко не всегда быстро осуществимы на практике. Поэтому возникает желание использовать уже имеющиеся сведения о мезонообразовании как источник дополнительной и независимой информации при анализе N-N рассеяния. Совместный анализ упругого и неупругого рассеяний был бы желателен еще и с другой точки зрения. Известно, что в проведенных до сих пор анализах оба процесса связаны между собой только оптической теоремой (через полное сечение рассеяния). Понятно поэтому, что фазовые сдвиги, ответственные за испускание π -мезонов, находятся с большой неопределенностью. Привлечение большей информации может наложить дополнительные связи на фазовые сдвиги (ф.с.) и уменьшить эту неопределенность.

В настоящей работе упругое рассеяние двух протонов при энергии 640 Мэв анализируется с учётом полных сечений и угловых распределений $\pi^{+,0}$ -мезонов. Расчёты проводились в рамках резонансной модели образования мезонов^{/5/}.

2. В анализе рассматривались данные по упругому рассеянию, использованные в недавней работе^{/3/}, и экспериментальный материал по образованию мезонов в p p -соударениях в области 650-660 Мэв:^{/6/}

$$\sigma(\pi^+ p n), \sigma(\pi^+ d), \sigma(\pi^0 p p), \frac{d\sigma(\pi^+ p n)}{d\Omega}, \frac{d\sigma(\pi^0 p p)}{d\Omega}.$$

Всего было использовано 110 экспериментальных точек (см. табл. 1).

Связь амплитуд мезонообразования с параметрами упругого рассеяния устанавливалась с помощью соотношений^{/7/}

$$\sigma(p p \rightarrow \pi^+ p n) = 4\pi \sum_{J=0}^3 \sum_{\ell=1}^3 |\beta_{J\ell}|^2 A_{J\ell}^+, \quad (1)$$

$$\sigma(p p \rightarrow \pi^+ d) = 4\pi |\beta_{22}|^2 A_{22}^d, \quad (2)$$

$$\sigma(p p \rightarrow \pi^0 p p) = 4\pi \sum_{\ell=1}^3 \sum_{J=0}^3 |\beta_{J\ell}|^2 A_{J\ell}^0, \quad (3)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(p p \rightarrow \pi^+ p n) = \frac{\sigma(\pi^+ p n)}{4\pi} + P_2(\Theta) \sum_{J=0}^3 \sum_{\ell=1}^3 |\beta_{J\ell}|^2 B_{J\ell}^+, \quad (4)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(p p \rightarrow \pi^0 p p) = \frac{\sigma(\pi^0 p p)}{4\pi} + P_2(\Theta) \sum_{J=0}^3 \sum_{\ell=1}^3 |\beta_{J\ell}|^2 B_{J\ell}^0. \quad (5)$$

В этих выражениях $\beta_{J\ell}$ - парциальные амплитуды рождения π -мезонов протонами, которые находятся в начальном состоянии с полным моментом J и орбитальным ℓ , - играют роль параметров модели. Коэффициенты $A_{J\ell}$ и $B_{J\ell}$ вычислялись в резонансной модели с учётом законов сохранения полного момента, чётности и изотопического спина. При этом учитывалось резонансное взаимодействие π -мезона с нуклоном (3/2, 3/2) и конечное нуклон-нуклонное взаимодействие. $P_2(\Theta)$ - второй полином Лежандра, Θ - угол испускания в с.ц.м.

Связь $\beta_{J\ell}$ с элементами $S_{J\ell}$ - матрицы упругого рассеяния^{/1/} дается выражениями^{/7/}

$$\frac{8k^2}{2J+1} (A_{J\ell}^0 + A_{J\ell}^+) |\beta_{J\ell}|^2 = 1 - |S_{J\ell}|^2 \quad \text{для } \ell, J \neq 2, 2, \quad (6)$$

$$\frac{8k^2}{5} (A_{22}^0 + A_{22}^d + A_{22}^+) |\beta_{22}|^2 = 1 - |S_{22}|^2 \text{ для } \ell, J=2. \quad (7)$$

Здесь k - волновой вектор сталкивающихся протонов в с.ц.м.

В соответствии с общепринятым подходом мезообразование учитывалось лишь в "резонансных" состояниях: ${}^3P_{0,1,2}$, 1D_2 и ${}^3F_{2,3}$. Параметры смешивания полагались вещественными. В остальном метод анализа не отличался от ранее применявшихся /1-4/.

3. Принимая во внимание, что недавно /3/ уже проводился достаточно полный поиск минимумов функционала χ^2 при разных предположениях о механизме рождения мезонов, а также предполагая, что использование дополнительного экспериментального материала по мезообразованию лишь несущественно изменит число наиболее низко лежащих минимумов χ^2 , было сочтено возможным опустить процедуру поиска решений, используя случайные значения ф.с. На этом основании вместо поиска мы ограничились лишь уточнением ранее находившихся в работе /3/ восьми решений. В результате проведенного нами уточнения осталось 4 набора с $\chi^2 = 75; 90; 91; 91$ при $\bar{\chi}^2 = 90$ (см. табл. 2). Решение с $\chi^2 = 75$ - аналог набора, найденного ранее в работах /2,8/. Остальные три решения по характеру ф.с. близки к полученному в работах /1,3,4,8/. Все найденные решения являются независимыми.

Факт наличия нескольких решений означает, что использованные сведения о процессах неупругого взаимодействия недостаточно весомы по сравнению с информацией об упругом pp -рассеянии, которой мы располагаем. Видимо, по этой причине наш способ учета неупругих процессов оказался малоэффективным средством подавления многозначности анализа.

Как видно из табл. 2, найденные решения особенно сильно различаются между собой в триплетных состояниях. Мнимые части ф.с. более определены и практически получены однозначным образом, их ошибки уменьшились примерно в 2 раза, но все же они довольно велики и достигают $(2-4)^\circ$. Можно надеяться, что использование в дальнейших анализах информации о спектрах π -мезонов поможет уточнить роль 3P_1 , 3P_2 и 3F_2 - состояний в образовании мезонов и сократить ошибки мнимых частей ф.с.

Угловые распределения $\pi^{+,0}$ -мезонов хорошо описываются всеми наборами ф.с. и предсказываются с высокой точностью. Относительно хуже описываются сечения упругого рассеяния (вклад в χ^2 достигает 30 ед.) и параметр R .

Для уточнения полученных и достижения более однозначных результатов желательно провести прецизионные измерения $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ($3^\circ-20^\circ$) и продолжить измерения параметра D в области больших углов. Желательно изучить ход угловой зависимости коэффициента $C_{кр}$ в области $10^\circ-80^\circ$ с.ц.м. Все эти измерения, как видно из графиков 1,2,3, могут существенным образом помочь в проведении однозначного анализа.

Л и т е р а т у р а

1. R.Zulkarneev, I.Silin. Phys. Lett., 3, 265 (1963).
2. L.Azhgirey, N.Klepikov, M.Mescheryakov et al., Phys.Lett., 6, 196 (1963); ЯФ, 2, 892 (1965).
3. Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Киселев, В.С.Надеждин, В.И.Сатаров. Препринт ОИЯИ, P1-4155, Дубна, 1968; ЯФ (в печати).
4. M.MacGregor, P.Arndt, P.Wright. Phys.Rev., 169, 1149(1968).
5. S.Mandelstam. Proc. Roy.Soc., 244, 491 (1958).

6. Б.С.Неганов, О.В.Савченко. ЖЭТФ, 32, 1265 (1957); М.Г.Мешеряков, Б.С.Неганов. ДАН СССР, 100, 677 (1955); В.М.Гужавин, и др. ЖЭТФ, 47, 1228 (1969).
7. В.Вовченко. ДАН СССР, 163, 1348 (1965).
8. И.Быстрицкий, Р.Зулькарнеев. ЖЭТФ, 45, 1169 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
22 сентября 1969 года.

Таблица 1
Распределение вкладов в χ^2 экспериментальных
величин

Величина	Число эксперим. точек	Вклад в χ^2			
		Реш. А.	Реш. В.	Реш. С.	Реш. Д.
$\sigma_{упр}(\theta)$	37	30	30	22	30
$P(\theta)$	23	8	12	13	13
$D(\theta)$	8	7	7	8	7
$R(\theta)$	5	10	17	14	15
$A(\theta)$	5	1	3	4	3
$\sigma_{сл.кр}(\theta)$	14	8	9	10	9
$\sigma_{неупр.}$	18	11	12	17	14
Всего:	110	75	90	90	90

Таблица 2
Фазовые сдвиги

Состояния pp-системы	Реальные части фазовых сдвигов, град.							
	$l=5; \chi^2=90$							
	решение А		решение В		решение С		решение Д	
	δ	$\pm \Delta\delta$	δ	$\pm \Delta\delta$	δ	$\pm \Delta\delta$	δ	$\pm \Delta\delta$
1S_0	-23,3	3,9	-28,5	5,2	-37,0	5,3	-33,2	5,3
3P_0	-59,0	6,7	-8,4	4,7	-16,7	2,5	-16,8	8,3
3P_1	-35,8	4,5	-25,3	4,1	-34,0	2,7	-21,7	5,4
3P_2	20,5	2,5	41,0	3,0	34,3	3,2	40,2	3,5
1D_2	11,2	3,1	8,0	3,2	3,7	2,2	6,1	3,0
E_2	-3,7	2,1	1,3	3,4	-0,6	3,4	-3,0	2,2
3F_2	-5,4	2,2	-3,4	1,7	-8,4	1,0	-5,0	2,2
3F_3	4,6	2,3	8,8	2,0	4,5	3,2	8,7	1,5
3F_4	2,3	0,8	4,0	1,5	-2,2	1,6	1,2	2,5
1G_4	5,2	1,3	3,7	1,7	2,2	1,2	3,2	1,5
E_4	-2,9	1,1	-1,5	1,0	-1,5	1,2	-2,9	0,8
3H_4	1,5	1,3	-0,7	0,6	-2,4	0,9	-1,4	1,0
3H_5	1,3	0,9	1,0	1,0	-1,4	1,5	0,0	1,2
3H_6	1,9	0,5	0,6	0,8	-2,0	1,0	0,9	1,2
	Мнимые части фазовых сдвигов, град.							
3P_0	0,7	4,9	6,0	5,6	-7,1	5,0	5,2	8,0
3P_1	6,8	4,5	6,1	4,5	6,6	4,1	6,7	3,2
3P_2	2,4	2,0	8,6	3,4	11,2	3,9	6,5	2,7
1D_2	7,3	0,6	7,3	0,6	7,5	0,6	7,3	0,6
3F_2	7,2	2,0	2,9	1,5	1,8	1,6	2,3	1,5
3F_3	5,6	1,7	6,2	1,6	6,1	1,5	5,3	1,3
χ^2	75		90		91		91	

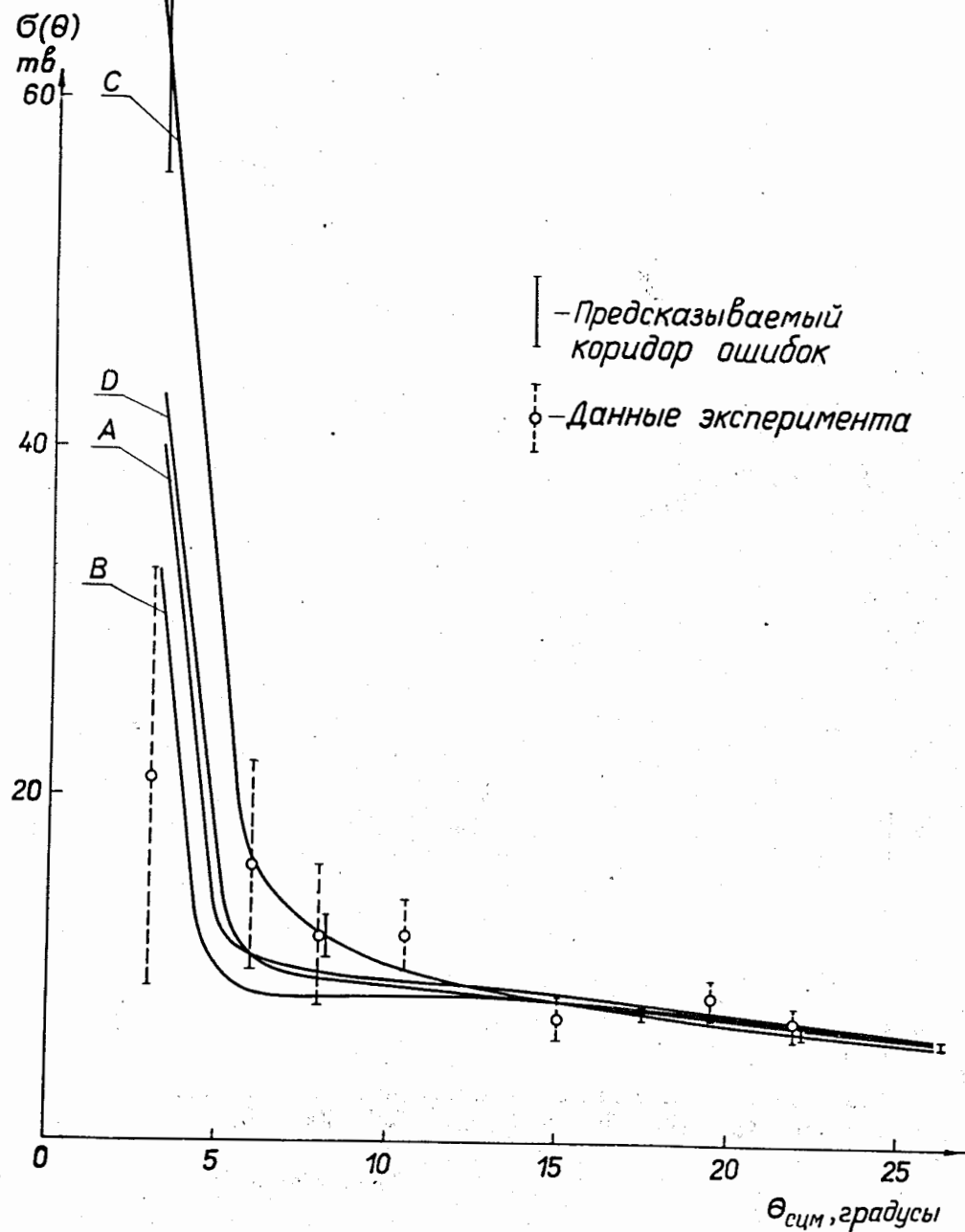


Рис. 1. Зависимость сечений pp-рассеяния в области $0 - 26^\circ$ с.ц.м.

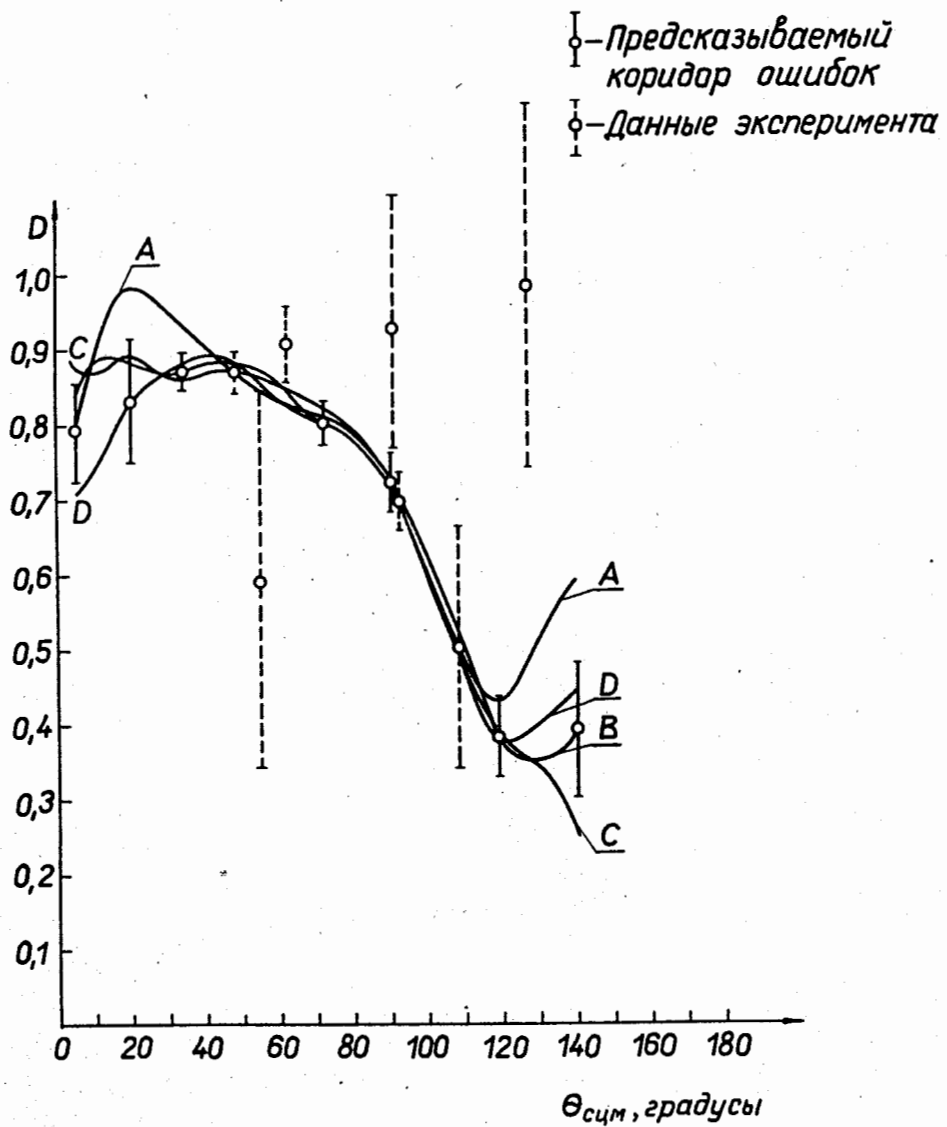


Рис. 2. Угловая зависимость параметра D .

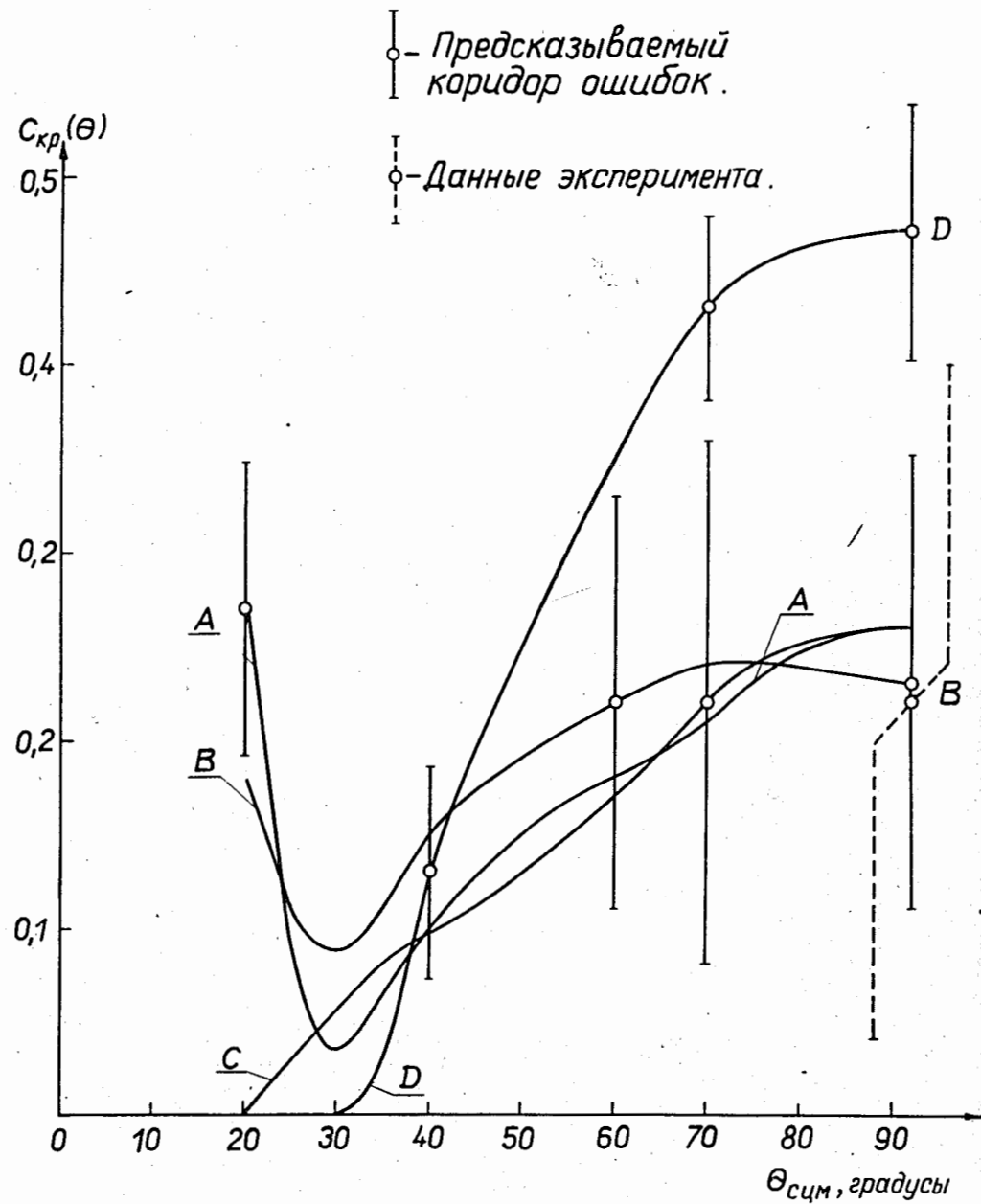


Рис. 3. Угловая зависимость коэффициента $C_{кр}$.

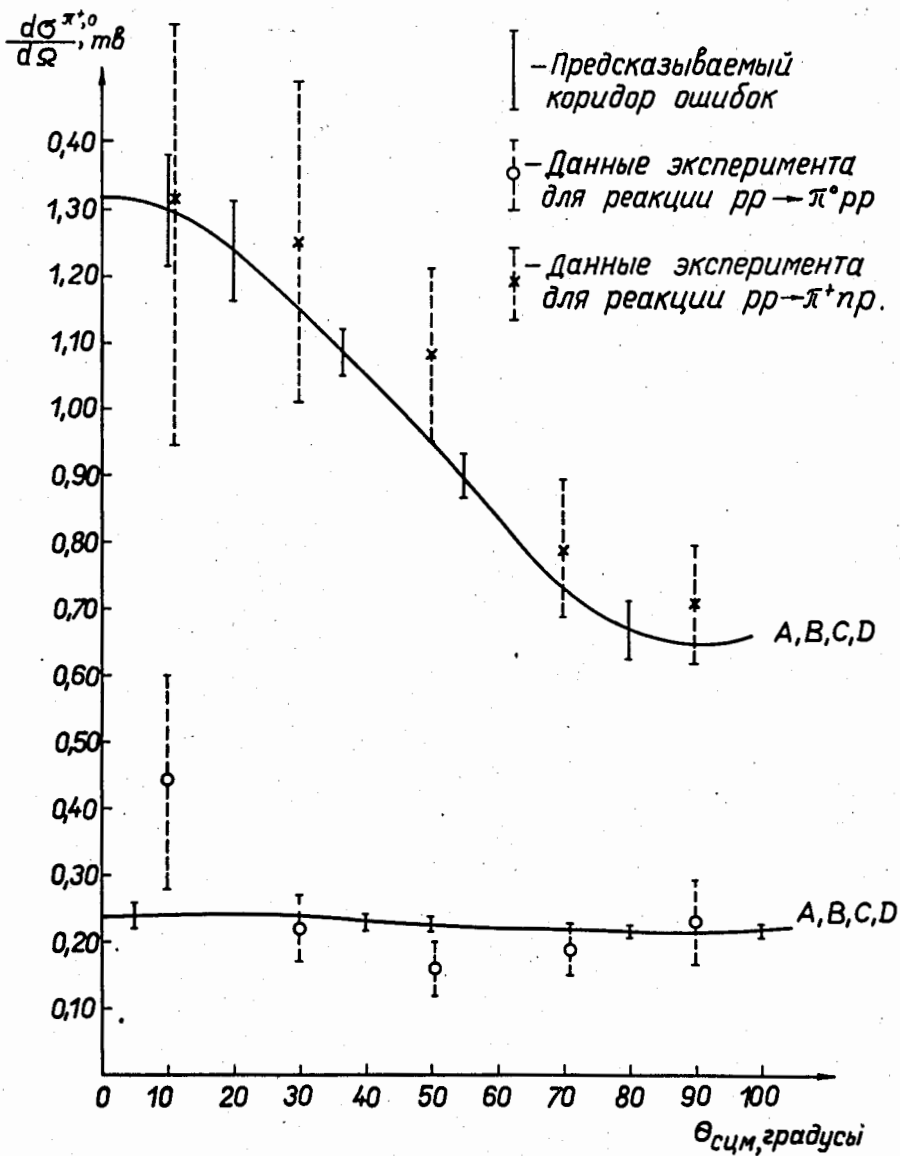


Рис. 4. Угловые зависимости образования π^+ - и π^0 -мезонов в реакциях $pp \rightarrow \pi^+ pp$ и $pp \rightarrow \pi^0 pp$. Сплошная линия - предсказания фазового анализа; точки - экспериментальные данные работ 767.