

Б-287

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

19/viii-69

ЯФ, 1969, т. 10, в. 4, с. 805-811



P1 - 4491

Ю.А.Батусов, Н.И.Костанашвили, Г.И.Лебедев

Д.С.Набичвршвили, В.А.Ярба

АБОРТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ОБРАЗОВАНИЕ π^- -МЕЗОНОВ
В PP-ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРИ ЭНЕРГИИ 660 МЭВ

1969

P1 - 4491

7898/2 up.
Ю.А.Батусов, Н.И.Костанашвили*, Г.И.Лебедевич*,
Д.С.Набичвршвили*, В.А.Ярба

ОБРАЗОВАНИЕ π^- -МЕЗОНОВ
В РР-ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРИ ЭНЕРГИИ 660 МЭВ

Направлено в ЯФ

*/ Тбилисский государственный университет

Изучение конкретных реакций при взаимодействии элементарных частиц в настоящее время весьма актуально. Полученные в этих исследованиях экспериментальные данные важны для проверки и уточнения модельных представлений, установления механизма взаимодействия, а также для проведения фазового анализа нуклон-нуклонных столкновений.

Нами проведена работа по изучению процессов образования π^+ -мезонов в протон-протонных взаимодействиях при энергии 660 Мэв. Измерены спектры π^+ -мезонов, образованных в реакциях



для углов $60, 76, 90, 150, 136, 120, 106^\circ$ в лабораторной системе координат.

Реакции (1) - (2) изучались ранее в других работах /1-5/. При сопоставлении этих работ можно отметить некоторое несогласие по-

лученных результатов. С целью более детального исследования реакций (1), (2) нами проведен эксперимент методикой, отличной от примененной в работах /1-5/.

Постановка эксперимента

Эксперимент проводился на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований. Схема эксперимента показана на рис.1.

На пути протонного пучка с энергией 660 Мэв помещался сосуд с внутренним диаметром 12 см, наполненный жидким водородом. Образованные во взаимодействиях π^+ -мезоны выделялись под определенными углами при помощи системы коллиматоров, имеющих форму щели длиной 20 см и сечением $1,2 \times 4$ см². Расстояние от центра мишени до коллиматоров составляло 16 см. В качестве детекторов использовались фотоэмульсионные камеры размером $2 \times 4 \times 10$ см³. Экспозиция проводилась в два приема: один раз для углов 60, 90, 120, 150°; второй раз поворотом регистрирующей системы были получены углы 76, 106, 136°. Для определения фона проведены экспозиции с сосудом без водорода.

Монитором служила ионизационная камера, помещенная в пучке первичных протонов перед мишенью. Ионизационная камера не была прокалибрована и поэтому абсолютные измерения интенсивности пучка первичных протонов не проводились.

Под микроскопом была просмотрена центральная часть фотоэмульсионных слоев шириной 2 и толщиной 0,4 см. Для каждого угла было

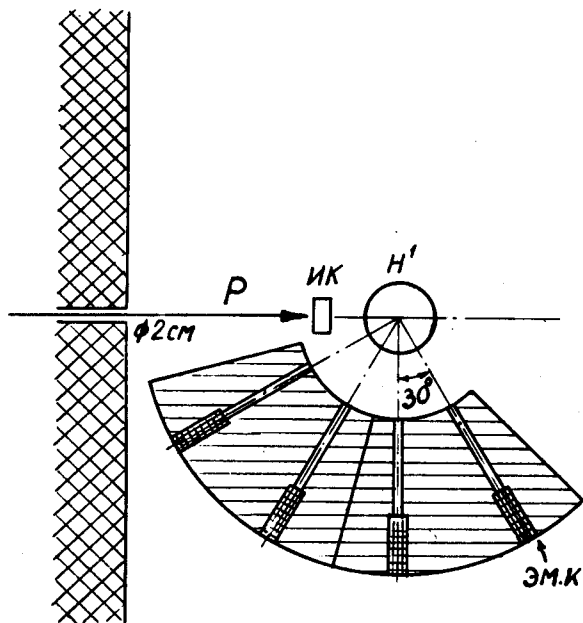


Рис.1. Схема эксперимента.

зарегистрировано по 7-10 тысяч остановок π^+ -мезонов по характерному виду $\pi-\mu-e$ -распада. Просмотр эмульсионных слоев от экспозиции с мишенью без водорода показал, что фон на углах $90+150^\circ$ меньше 2%, а для углов 60 и 76° составляет 14 и 8% соответственно. При обработке экспериментальных данных на этих углах фон вычитался.

Таким образом, в результате просмотра мы имели спектры пробегов π^+ -мезонов в фотоэмульсии, образованных в водородной мишени под различными углами. Энергии π^+ -мезонов определялись по пробегу в фотоэмульсии. Порог регистрации π^+ -мезонов 18 Мэв обусловлен потерями энергии в мишени.

Экспериментальные результаты

Для получения энергетических спектров π^+ -мезонов в экспериментально полученные распределения введены следующие поправки, учитывающие: эффективность просмотра, телесный угол, эффективный объем мишени, распад π -мезонов налету, ядерное взаимодействие, рассеяние π -мезонов в детекторе.

Большинство фотоэмульсионных слоев просмотрено дважды с эффективностью $\approx 100\%$. Эффективность однократного просмотра разных просмотрщиц измерялась и периодически контролировалась.

Эффективный объем мишени V , образованные вне которого π^+ -мезоны не могут попасть в данное место детектора, зависит от геометрии экспериментальной установки, пробега и угла вылета π -мезона. Поправка на эффективный объем мишени $k \approx \frac{1}{v}$ существенно зависит от угла вылета и слабо изменяется с изменением пробега π -мезонов.

При вычислении поправки на распад налету учитывалось время пролета π -мезонов от мишени до детектора и время торможения в фотоэмульсии. Эта поправка слабо зависит от энергии π -мезонов.

Используя экспериментальные данные /6,7,8/ о сечениях взаимодействия π -мезонов при разных энергиях с ядрами фотоэмульсии, мы вычислили поправку на ядерное взаимодействие.

Для определения поправки на выбывание π -мезонов из эмульсионных камер вследствие рассеяния была проведена специальная экспериментальная работа /9/. С помощью данных, полученных в этой работе, определена поправка на рассеяние применительно к нашему эксперименту без каких-либо предположений.

С целью проверки эффекта рассеяния π -мезонов на стенках коллиматоров измерены угловые распределения частиц, входящих в фотоэмульсионные камеры. Оказалось, что углы входа не превышают величин, разрешенных геометрией экспериментальной установки.

Энергетические спектры π^+ -мезонов для углов 150, 136, 120, 106° в лабораторной системе координат представлены на рис. 2. Ошибки включают статистические и систематические погрешности, связанные с неточностью определения поправок.

Пики в конце спектров обусловлены π^+ -мезонами, образованными в реакции (1). Они хорошо описываются распределением Гаусса. Значения параметров распределения, полученные методом наименьших квадратов, приведены в таблице 1. (θ^L - угол вылета π^+ -мезона в лабораторной системе координат, θ^C - угол в системе центра масс сталкивающихся нуклонов, E_0 - энергия в лабораторной системе, соответствующая положению максимума, H - высота пика, ΔE - стандартное отклонение, а $-\frac{d\sigma^C}{d\Omega^C}$ - дифференциальные сечения реакции (1) в системе центра масс). Значения ΔE показывают величину энергетического разрешения в эксперименте. На рис. 3 приведены угловые распределения π^+ -мезонов для реакции $p p \rightarrow d \pi^+$ (1), полученные в работах /1,3,4,5/. Видно, что для малых значений $\cos^2 \theta^C$ они совпадают, а для $\cos^2 \theta^C > 0,5$ наблюдается расхождение. Полученная в нашей работе

зависимость дифференциального сечения реакции (1) от угла π^+ -мезона в системе центра масс сталкивающихся протонов для интервала $\text{Cos}^2\theta^c$ равного $0,55 \pm 0,05$, согласуется с результатами работы ^{/5/}.

Переведя произвольные единицы, использованные в нашей работе, в абсолютные сечения на основании реакции (1) и в соответствии с работой ^{/5/} (см. рис. 3) получаем для полного сечения реакции $pp \rightarrow pp \pi^+$ (2) величину ≈ 13 мб, что согласуется с результатами работ ^{/1,2,3/}.

Спектры π^+ -мезонов, образованных в трехчастичной реакции $pp \rightarrow pp \pi^+$ (2), получены путем вычитания из экспериментально измеренных распределений пиков, обусловленных двухчастичной реакцией (1) с параметрами, приведенными в таблице 1. Они представлены на рис. 4. На этом же рисунке даны спектры для углов $60^\circ, 76^\circ, 90^\circ$, измеренные до энергии 100 Мэв. Сплошные кривые представляют фазовый объем для реакции (2), а пунктирные кривые - результаты расчета, проведенного В.И. Кочиным и В.К. Сусленко ^{/13/} по модели одномезонного обмена Феррари и Селлери ^{/10/} с формфактором

Таблица I

θ^L	$\text{Cos}\theta^c$	E_0 [Мэв]	H	ΔE (Мэв)	$\frac{d\sigma^c}{d\Omega^c}$ [произв. ед.]
150°	0,974	50.5	4.7	2.5	108 ± 9
136°	0,934	57.0	4.8	3.0	115 ± 11
120°	0,842	69.0	6.2	3.0	114 ± 14
106°	0,749	83.0	6.6	3.7	120 ± 19

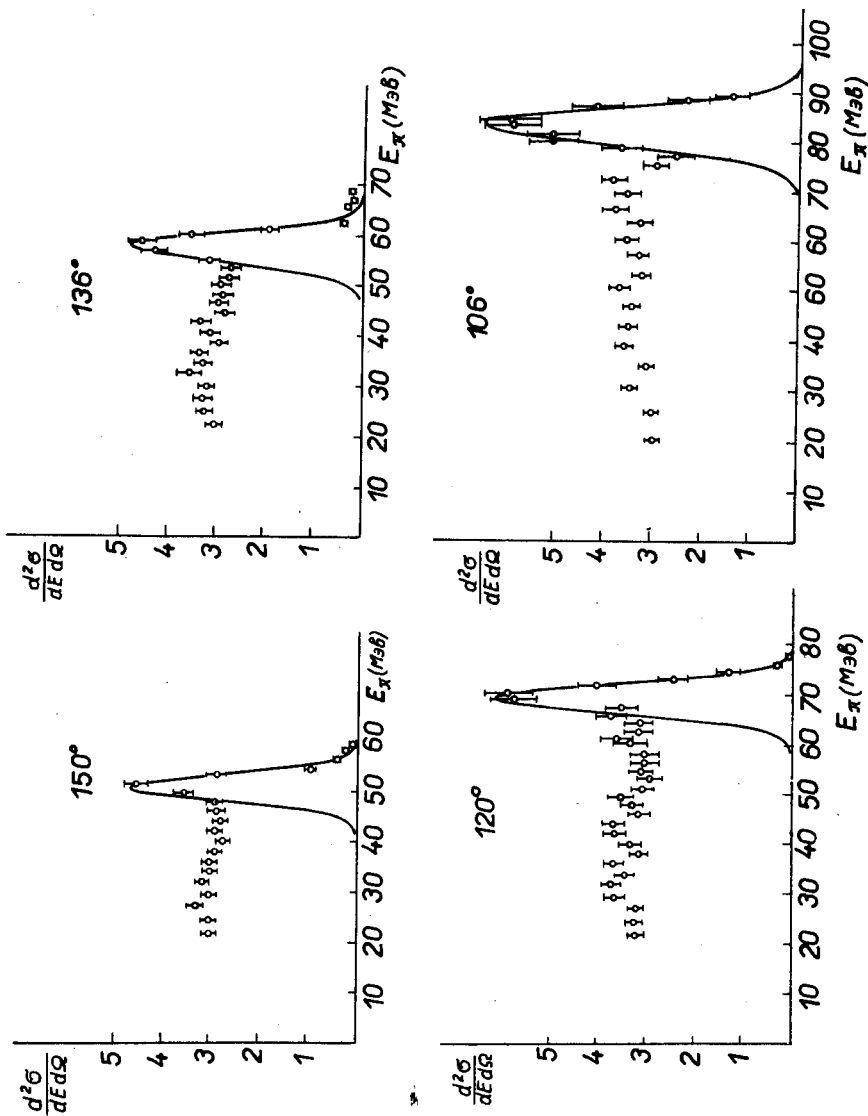


Рис.2. Энергетические спектры π^+ -мезонов, образованных при взаимодействии протонов с протонами при энергии 660 Мэв для углов 150 , 136 , 120 , 106° в лабораторной системе координат.

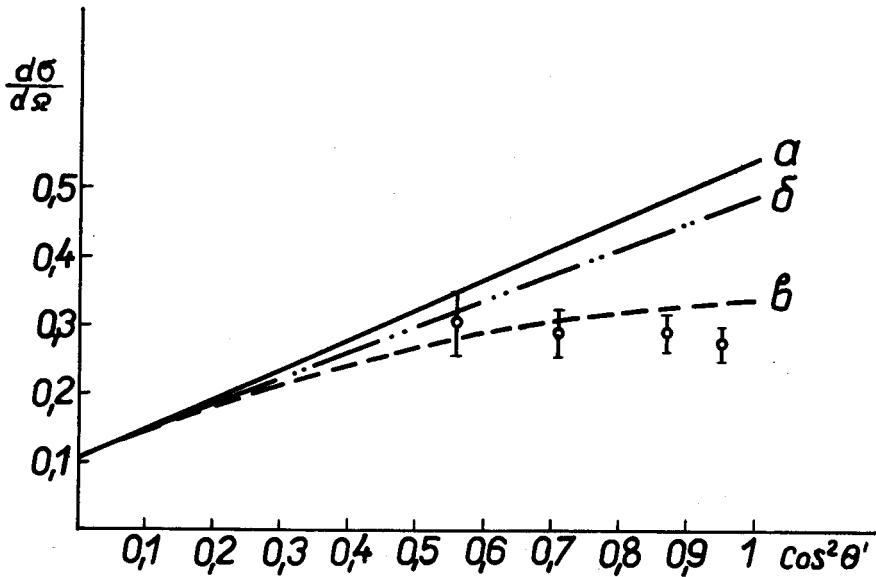


Рис.3. Угловое распределение π^+ -мезонов в с.ц.м. реакции $pp \rightarrow d\pi^+$.
Кривые а, б, в - по данным работ [1,2,5], соответственно.
Точки - результаты настоящей работы.

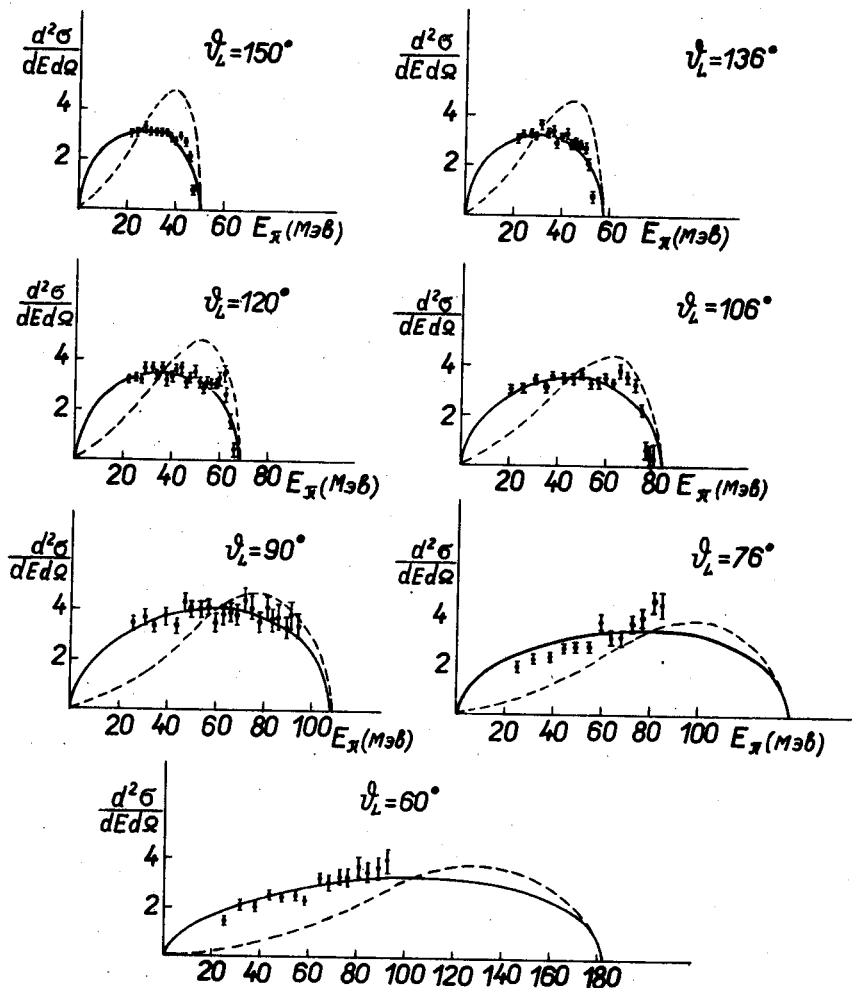


Рис.4. Энергетические спектры π^+ -мезонов в реакции $pp \rightarrow rp \pi^+$ для различных углов в л.с. Сплошная кривая - фазовый объем. Пунктирная кривая - расчет по модели одномезонного обмена.

$$G(t^2) = \frac{0,72}{1 + \frac{t^2 + \mu^2}{4,73 \mu^2}} + 0,28.$$

Из рис. 4 видно, что энергетические спектры π^+ -мезонов не описываются моделью одномезонного обмена.

Используя энергетические спектры π^+ -мезонов в л.с. для реакции (2), мы получили угловые распределения π^+ -мезонов определенных энергий в с.ц.м. (в интервале 55-135 Мэв). Они представлены на рис. 5. Как видно, экспериментальные данные хорошо описываются линейной зависимостью по $\text{Cos}^2 \theta'$. Подставляя дифференциальное сечение в виде $\frac{d^2 \sigma'}{dE' d\Omega'} = A(E') + B(E') \text{Cos}^2 \theta'$, можно получить значения A и B при различных энергиях π^+ -мезонов (см. рис. 6). Незнание спектров π^+ -мезонов в л.с. до энергий 20 Мэв не позволило получить угловые распределения π^+ в с.ц.м. при энергиях, меньших 60 Мэв.

Полученные нами данные по угловому распределению π -мезонов в с.ц.м. в интервале энергий 55-135 Мэв приведены на рис. 7. Среднее значение коэффициента анизотропии в представлении углового распределения в виде $I(\theta') \approx 1/3 + b \text{Cos}^2 \theta'$ дано в таблице II. Там же приведены результаты других работ /1,2,3/.

Энергетический спектр π^+ -мезонов в с.ц.м. для реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ представлен на рис. 8. Там же приводится кривая фазового объема и результаты расчета по изобарной модели /12/. Видно, что изобарная модель не описывает энергетического спектра π^+ -мезонов.

З а к л ю ч е н и е

Результаты настоящей работы кратко можно сформулировать следующим образом:

Таблица II

Энергия первичн. протонов [МэВ]	Угловое распределение π^+ мезонов в реакции $pp \rightarrow \pi^+ pr$	Ссылка
660	$1/3 + (0.51 \pm 0.12) \cos^2 \theta'$	[1]
660	$1/3 + (0.03 \pm 0.08) \cos^2 \theta'$	[2]
650	$1/3 + (0.25 \pm 0.07) \cos^2 \theta'$	[3]
660	$1/3 + (0.38 \pm 0.03) \cos^2 \theta'$	данная работа

1. Измерены энергетические спектры π^+ -мезонов, образованных при взаимодействии протонов с протонами при энергии 660 МэВ, для семи углов в лабораторной системе.

2. Полученные экспериментальные результаты о реакции $pp \rightarrow d \pi^+$ согласуются с данными работы ^{15/} и, по-видимому, указывают также на заметный вклад F-волнового взаимодействия протонов в начальном состоянии.

3. Угловые распределения π^+ -мезонов фиксированных энергий в с.ц.м. сталкивающихся нуклонов для реакции $pp \rightarrow rp \pi^+$ в пределах экспериментальной точности описываются линейной зависимостью по $\cos^2 \theta'$ в интервале энергий 55-135 МэВ.

4. Получена зависимость изотропной и анизотропной частей дифференциального сечения реакции (2) от энергии π^+ -мезонов в с.ц.м. в интервале 55-135 МэВ. С ростом энергии не наблюдается увеличения анизотропии в угловом распределении π^+ -мезонов, что не согласуется

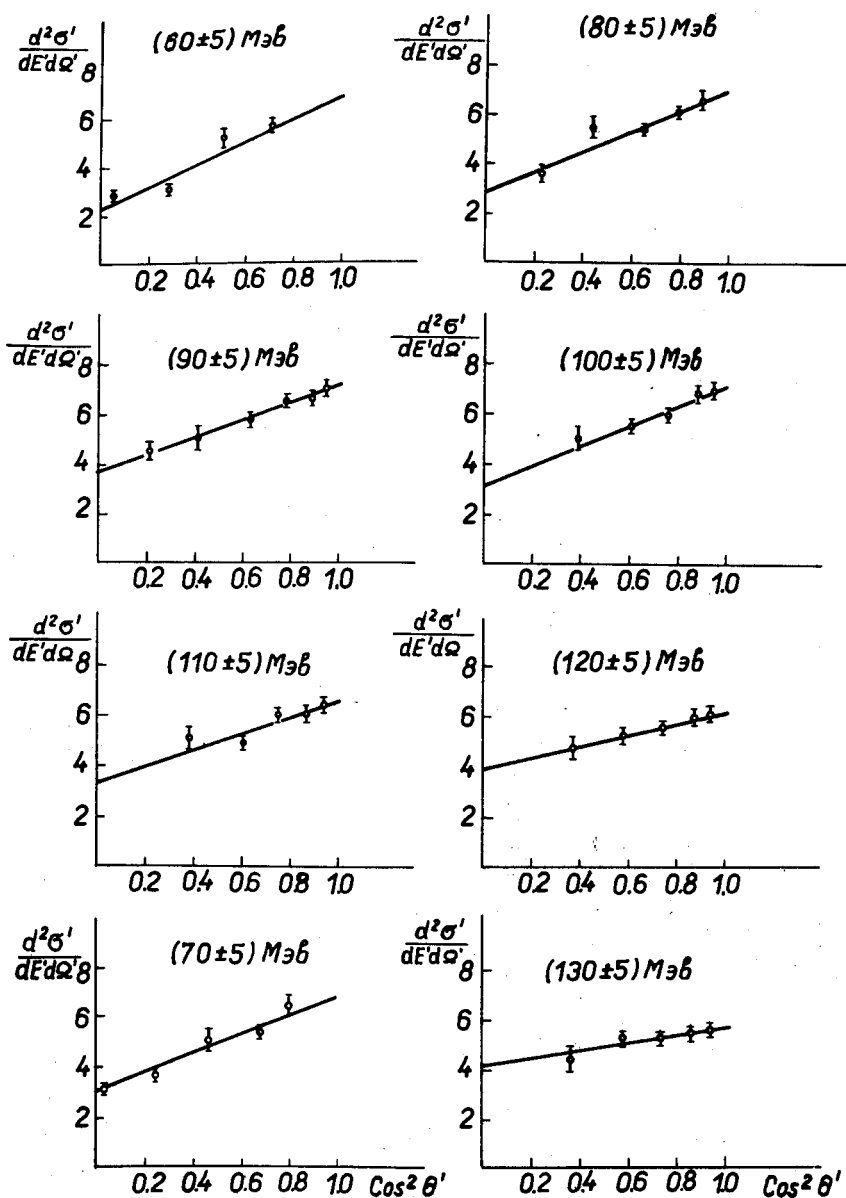


Рис.5. Угловые распределения π^+ -мезонов в с.ц.м. в реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ при различных энергиях π^+ -мезонов.

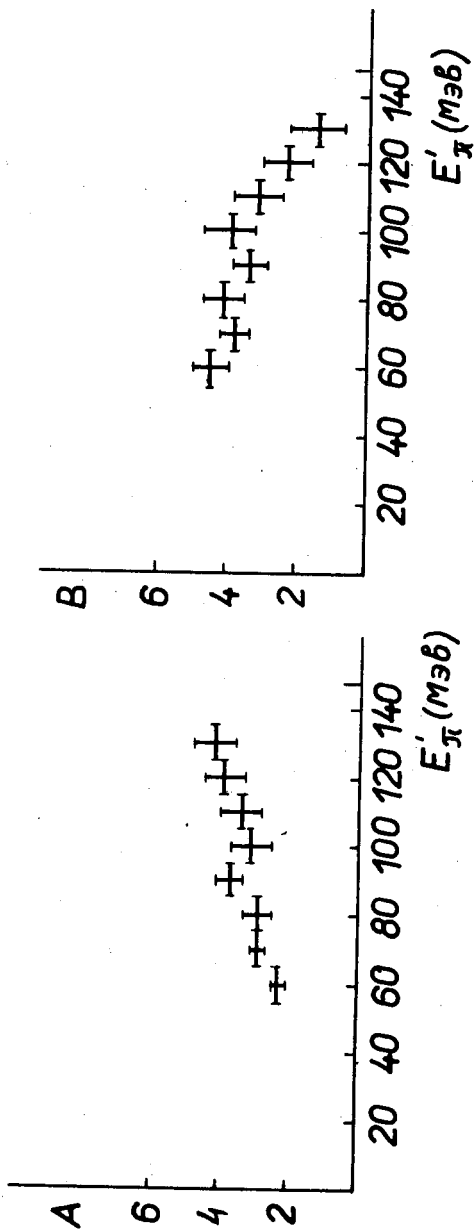


Рис.6. Зависимость коэффициентов А и В в угловом распределении от энергии π^+ -мезонов в с.п.м.

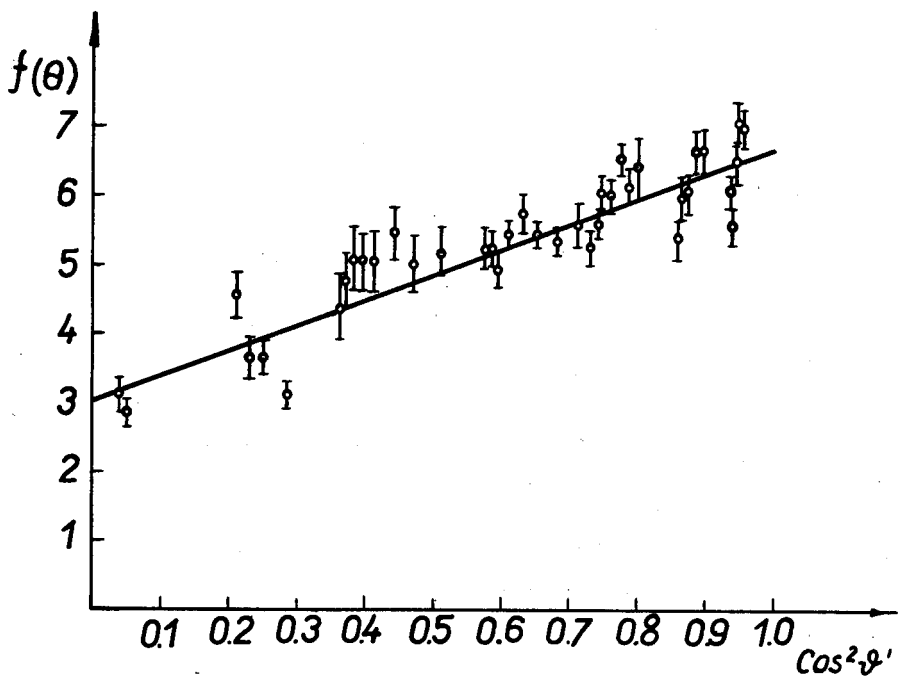


Рис.7. Угловое распределение π^+ -мезонов в реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ в интервале энергий π^+ -мезонов 55-135 Мэв в с.ц.м.

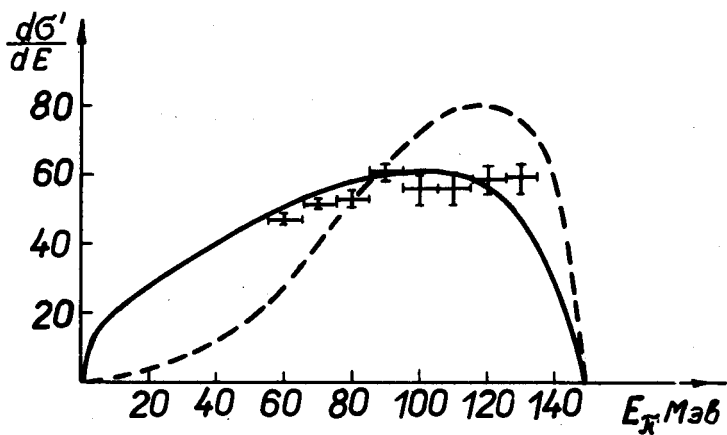


Рис.8. Энергетический спектр π^+ -мезонов в с.ц.м. для реакции $pp \rightarrow rp \pi^+$. Сплошная кривая - фазовый объем. Пунктирная кривая - расчет по изобарной модели.

с предсказаниями модели Мандельштама /11/ без учета интерференционных эффектов.

5. Сравнение полученных экспериментальных результатов с различными теоретическими моделями /10,11,12/ показывает, что процесс мезообразования в pp -взаимодействии при энергии 660 Мэв не может быть удовлетворительно описан рассмотренными моделями.

Авторы благодарны С.А. Бунятову, В.Г. Вовченко, М.И. Подгорецкому, Н.И. Ройнишвили, В.М. Сидорову за полезные обсуждения и К.О. Оганесяну за помощь в проведении эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. Б.С. Неганов, О.В. Савченко. ЖЭТФ, 32, 1265, 1957.
2. А.Г. Мешковский, Я.Я. Шаламов, В.А. Шебанов. ЖЭТФ, 35, 64, 1958.
3. В.М. Гужавин, Г.К. Клигер, В.З. Колганов, А.В. Лебедев, К.С. Мариш, Ю.Д. Прокошкин, В.Т. Смолянкин, А.П. Соколов, Л.М. Сороко, Цуй Ва-чуан. ЖЭТФ, 46, 1245, 1964.
4. М.Г. Мещеряков, Б.С. Неганов. ДАН СССР, 100, 677, 1955.
5. D.F. Measday. "Нуклоны и пионы". Материалы I Международного совещания по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям, P1-3971, Дубна, 11-15 июня 1968 г.
6. A.Minguzzi, A.Minguzzi-Ranzi. Nuovo Cim. 10, 1100, 1958.
7. B.Bernardini, F.Levy. Phys.Rev., 84, 610, 1951.
8. G.Ferrari et al. Nuovo Cim.Supl., 4, 914, 1956.
9. А.В. Бурдули, Д.Д. Джалагания, Н.И. Костанашвили, Г.И. Лебедевич, Д.С. Набичвришвили, В.А. Ярба. Сообщение ОИЯИ, P1-4490, 1969.
10. E.Ferrari, F.Selleri. Nuovo Cim., 27, 1450, 1963.
11. S.Mandelstam. Proc.Roy.Soc., A244, 491, 1958.

12. S.J. Lindenbaum, R.H. Sternheimer. Phys. Rev., 105, 1874, 1957.
13. В.И. Кочкин, В.К. Сусленко. Препринт ОИЯИ Е2-3638, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 мая 1969 года.