

С 346
Б-91

И.И. 1204



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С.А. Бунятов

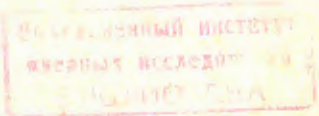
Р-1484

ПИОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ
/Обзор экспериментальных данных/

Дубна 1964

ПИОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ
/Обзор экспериментальных данных/

22/4/3 48



Дубна 1964

О г л а в л е н и е

§ 1.	В в е д е н и е.....	3
	Квантовые числа пионных резонансов.....	3
	G - четность.....	
§ 2.	η - мезон.....	4
§ 3.	ρ - мезон.....	9
§ 4.	ω - мезон.....	12
§ 5.	ϕ - мезон.....	14
§ 6.	f^0 - мезон.....	18
§ 7.	ζ - пик.....	20
	Список литературы.....	23

§ 1. Введение

Одним из наиболее важных достижений в области сильных взаимодействий за последние несколько лет является открытие целого ряда резонансных состояний в различных системах элементарных частиц. Если всего десять лет назад было известно только одно резонансное состояние - так называемая $\rho(770)$ изобара, то к настоящему времени число резонансов достигло уже тридцати трех; причем большинство из них открыто в последние несколько лет.

Теперь совершенно ясно, что существование резонансных состояний является общим свойством сильных взаимодействий. Поэтому все резонансы в соответствии с разделением сильновзаимодействующих элементарных частиц можно разбить на несколько групп в зависимости от значения барионного числа - B и странности - S . Это разделение приводится в следующей таблице:

Группы резонансов	B	S
1. π - мезонные	0	0
2. K - мезонные	0	1
3. Барионные	1	0
4. Гиперонные	1	1,2

Последний обзор экспериментальных данных по пионным резонансам был сделан Пуппи в июле 1962 г. ^{/15/} на XI конференции по физике высоких энергий в Женеве. За прошедший год появилось много данных как об известных, так и о новых пионных резонансах. В настоящем обзоре обсуждаются новые экспериментальные данные, дается таблица основных свойств пионных резонансов, приводится библиография работ, опубликованных до августа 1963 года.

Квантовые числа пионных резонансов, G -четность

Прежде всего нужно отметить, что совсем не обязательно, чтобы пионные резонансы распадались только на π -мезоны. Они могут распадаться, например, по электромагнитным каналам с участием γ -квантов или на пары K -мезонов.

Следует отметить также, что пионные резонансы, кроме квантовых чисел, об-
щих для всех резонансов, таких, как спин - J , четность - P , изотопический
спин - I , характеризуются еще и специфическим квантовым числом G - чет-
ностью, которую иногда называют изотопической четностью. G - четность опре-
деляется оператором $G = CT_2$, где C - оператор зарядового сопряжения,
а T_2 - поворот на 180° вокруг второй оси в изотопическом пространстве. Опре-
деленную G - четность могут иметь только частицы или системы частиц с рав-
ными нулю барионным числом и странностью. G - четность π - мезонов рав-
на $1/(-1)^{L+S+I}$. G - четности систем нуклон-антинуклон и бозон + антибозон равны соот-
ветственно $1/(-1)^{L+S+I}$ и $1/(-1)^{L+I}$, где L - угловой момент, S - спин, I -
изотопический спин системы.

В дальнейшем пионные резонансы обсуждаются не в хронологическом поряд-
ке, а в порядке возрастания их масс.

§ 2. η - мезон^{x/}

Первое экспериментальное указание на существование η -мезона было по-
лучено Певзнером и др.^{/2.1/} при исследовании спектра масс 3-пионной системы от
реакции $\pi^+ + d \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ в 72-дюймовой дейтериевой пузырько-
вой камере при импульсе первичных π^+ -мезонов 1,23 Гэв/с. В спектре был об-
наружен пик при значении эффективной массы = 550 Мэв. Позднее существование
 η -мезона было подтверждено в целом ряде других работ в различных реак-
циях. Ко времени конференции 1962 г. были хорошо установлены масса, изотопи-
ческий спин η -мезона, был дан верхний предел ширины. Однако оставались
некоторые вопросы, связанные с окончательным подтверждением предполагаемых
спина - J , P - четности и G -четности соответственно 0, -1, +1 = 0.⁺
В работах, опубликованных после конференции, эти квантовые числа нашли дальней-
шее подтверждение. В частности, серьезным подтверждением того факта, что
спин η -мезона не равен 1, является обнаружение распада $\eta \rightarrow \gamma + \gamma$. Дело
в том, что для системы из двух фотонов с равной нулю суммой импульсов строго
запрещено иметь момент количества движения, равный 1. Это правило запрета яв-
ляется следствием поперечности электромагнитных волн и впервые в общем виде
было установлено Ландау^{/2.21/}. Оно основано на невозможности построения волно-
вой функции двух фотонов с полным моментом, равным 1, которая одновременно
удовлетворяла бы двум требованиям: 1/ волновая функция должна быть симметрич-
ной по отношению перестановки двух фотонов и 2/ вследствие поперечности

^{x/} Свойства η -мезона подробно рассмотрены в обзоре В.Г. Гришина и
М.И. Подгорецкого^{/2.20/}.

электромагнитного поля векторы поляризации фотонов должны быть перпендикулярны к направлению их относительного импульса.

В работе /2.6/, выполненной во Фраскатти с помощью электроники и доложенной на конференции, были зарегистрированы γ -кванты от распада η -мезонов, образованных в реакции $\gamma + p \rightarrow \eta^0 + p$. Но, к сожалению, нельзя было различить две возможные ветви распада $\eta \rightarrow \gamma + \gamma$ и $\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma$. В работе группы В.Б. Любимова /2.15/ исследовался энергетический спектр γ -квантов, образованных в $\pi^- + p$ взаимодействиях при $E \approx 7$ Гэв в пропановой пузырьковой камере. Энергия γ -квантов определялась по магнитному отклонению e^+e^- -пар.

Кроме максимума при $E_\gamma = \frac{m_{\pi^-}}{2}$, был обнаружен второй максимум при $E_\gamma = 250-300$ Мэв. Возможным источником этих γ -квантов могут быть распады

$$\begin{aligned} \eta &\rightarrow \gamma + \gamma, \\ \eta^0 &\rightarrow \pi^0 + \gamma. \end{aligned}$$

Первый из них дает γ -кванты с $E_\gamma = 274$, второй - с $E_\gamma = 259$ Мэв. Однако экспериментальная точность не позволяет, как и в предыдущем опыте, разделить эти две ветви. Вскоре после конференции появилась работа Кретина и др. /2.13/ в которой также была предпринята попытка обнаружить распад $\eta \rightarrow 2\gamma$. С этой целью 50-л пузырьковая камера, наполненная смесью пропана, метил-иодида и этана /радиационная длина 8,2 см/ облучалась π^- -мезонами с импульсом 1140 Мэв/с. Регистрировались случаи, соответствующие реакции $\pi^- + p \rightarrow X^0 + p$ с последующим распадом $X^0 \rightarrow 2\gamma$. Экспериментальная техника состояла в нахождении безлучевых взаимодействий π^- -мезонов, связанных с двумя конвертированными в камере фотонами. Направление движения каждого фотона трансформировали в систему центра инерции и строили распределение углов между двумя фотонами в этой системе. Наблюдались также случаи с большим числом конвертированных фотонов / до 6/. Эти события использовались для определения фона.

Распределение углов $\theta_{\gamma\gamma}$ можно подсчитать теоретически, предполагая, что X^0 распадается изотропно в собственной системе центра масс. Это угловое распределение имеет максимум вблизи минимального угла, который определяется массой X^0 - частицы и импульсом первичного π^- -мезона. Распределение углов между γ -квантами показано на рис. 1. На рисунке видны два максимума. Первый - при 25° соответствует массе /144+16/ Мэв. Это пик от π^0 -мезонов. Максимум при 100° соответствует массе /545+30/ Мэв. Это значение массы согласуется с массой η -мезона. Естественно предположить, что события в области второго максимума связаны с распадом $\eta \rightarrow 2\gamma$. Однако и этот эксперимент полностью не исключил возможности распада

$$\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma.$$

Как показали расчеты Квеццолли и Силвестрини /2.14/, распределение углов меж-

ду двумя фотонами от распада $\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma$ также имеет максимум в районе 100° , и поэтому события с $\theta_{\gamma\gamma} = 100^\circ$ могли быть распадами $\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma$, в которых один из γ - квантов не конвертировал в камере. Это ставило под сомнение однозначность выводов работы Кретина и др.

В работе Бера и др. /2.17/ эта неоднозначность была преодолена, хотя число зарегистрированных распадов $\eta \rightarrow 2\gamma$ невелико: 21 ± 6 . В этой работе исследовалась реакция $\pi^- + p \rightarrow \eta + \gamma$ или 3γ при энергии 1,15 ГэВ/с на синхрофазотроне "Сатурн" в Сакле. Реакция изучалась в пузырьковой камере с тяжелым наполнением /50% смесь C_2H_2 и CF_3Br . Радиационная длина 22 см/. Камера была помещена в сильное магнитное поле $\approx 1,75$ тл, что позволяло с 30% точностью определять энергию e^+ и e^- по магнитному отклонению. Было построено распределение эффективных масс 3γ и 2γ . В распределении масс 3γ /24 события/ не было обнаружено заметного пика в области массы η - мезона. Распределение эффективных масс двух γ -квантов /рис. 2/ имеет два пика: первый соответствует π^0 -мезону /среднее значение массы $138,5 \pm 3,7$ МэВ/. Второй - η^0 - мезону /среднее значение массы 578 ± 26 /. После вычитания фона от реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + p$ в области пика остается 21 ± 6 распадов $\eta \rightarrow 2\gamma$. Отсутствие пика в распределении 3γ и заметный пик в распределении масс 2γ является дополнительным аргументом в пользу наблюдения распада $\eta \rightarrow 2\gamma$. Таким образом, хотя статистическая точность каждого из рассмотренных экспериментов невелика, по совокупности экспериментов можно утверждать, что распад $\eta \rightarrow 2\gamma$ установлен.

Следовательно, спин η -мезона не равен 1. Минимальные значения спина 0 или 2. В пользу нулевого спина говорит тот факт, что угловое распределение π^0 - мезонов от распада $\eta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ в с.ц.и. изотропно /2.11/. Анализ распределения точек, соответствующих распаду $\eta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ по диаграмме Далитца, приводит к квантовым числам η - мезона 0^{-+} . Отсюда следует, что первоначально обнаруженный распад $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ происходит с нарушением G - четности / G -четность π -мезона отрицательна/ и является электромагнитным процессом второго порядка, в котором имеет место испускание и поглощение виртуального γ -кванта. Так как наблюдается распад, связанный с электромагнитным процессом второго порядка, то казалось, должны бы наблюдаться и распады, связанные с электромагнитным процессом первого порядка и, в частности, распад $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$. Напомним, что, по теоретическим оценкам Кобзарева и Окуя, /2.22/ этот распад должен быть преобладающим. Однако ко времени конференции экспериментально такой распад не наблюдался, и это вызывало некоторые сомнения в справедливости установленных квантовых чисел η -мезона 0^{-+} .

В опубликованной после конференции работе Фаулера и др. /2.16/ распад $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$ был наблюден. В водородной пузырьковой камере Альвареса изучалась реакция $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p + \eta$ с последующим распадом $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + X^0$, где X^0 - неизвестная нейтральная частица /или частицы/. Импульс первичных π^+ -мезонов в центре камеры был равен 1170 Мэв/с с очень небольшим разбросом ± 6 Мэв/с. Было отобрано 76 распадов $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + X^0$. Оказалось, что X^0 -частица всегда была либо фотоном, либо π^0 -мезоном /рис. 3/. Причем отношение $\frac{\pi^+ + \pi^- + \gamma}{\pi^+ + \pi^- + \pi^0} = 0,26 \pm 0,08$. Таким образом, распад $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$ сильно подавлен. Хотя Гелл-Манну и др. /2.24/ удалось объяснить столь низкую вероятность распада $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$ с помощью модели "двух промежуточных ρ^0 " с последующим распадом на γ и $\pi^+ + \pi^-$ ($\eta \rightarrow \rho^0 + \rho^0 \rightarrow \gamma + \pi^+ + \pi^-$), все-таки противоречие с обычными теоретическими оценками /2.22/ очень велико.

Причиной подавления распада $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$, возможно, является сильное взаимодействие между двумя π -мезонами в конечном состоянии 0^{++} и $I = 0$ в области небольших энергий /примерно до $M_{\pi\pi} = 400$ Мэв/. Существование такого взаимодействия в настоящее время хорошо установлено.

Это взаимодействие будет проявляться в распадах $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ и $\eta \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0$ между $\pi^+ + \pi^-$ и $\pi^0 + \pi^0$ парами и приведет к увеличению вероятности этих распадов. С другой стороны, оно не может проявляться в распаде $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$. Последнее следует из сохранения зарядовой четности. С-четность в начальном и конечном состояниях рассматриваемого распада равна $(-1)^{I_{\eta}} G_{\eta}$ и $(-1)^{I_{\pi\pi} + 1} G_{\pi\pi}$. Так как $G_{\eta} = G_{\pi^+ \pi^-} = -1$, то $I_{\eta} = I_{\pi\pi} + 1$ и изотопический спин двух π -мезонов в распаде $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$ равен 1. Подробнее вопросы, связанные с электромагнитными эффектами в распадах, рассмотрены в работе Файнберга и Пайса /2.23/.

Таким образом, можно считать, что в настоящее время нет экспериментов, противоречащих установленным для η -мезона квантовым числам 0^{-+} .

Соотношение между нейтральными модами распада

η - мезона

Учитывая, что квантовые числа η -мезона 0^{-+} , следует ожидать, что одной из основных нейтральных схем распада, наряду с распадом $\eta \rightarrow \gamma + \gamma$, будет распад $\eta \rightarrow 3\pi^0$. На конференции было известно лишь отношение между вероятностями распада η на нейтральные и заряженные. Распад η на нейтральные определялся по подсчету "недостающей массы". Под распадом на заряженные понимается распад $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + X^0$, где X^0 - π^0 -мезон или γ -квант. Среднее значение отношения вероятностей распадов по нескольким экспериментам равнялось $2,6 \pm 0,6$. В двух работах, выполненных после кон-

ференции удалось наблюдать распад $\eta \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0$ и оценить отношение $R = \frac{\eta \rightarrow \gamma\gamma}{\eta \rightarrow 3\pi^0}$. В работе Кроуфорда и др. /2.18/ изучались реакция $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p + \eta$ в 72 д. водородной пузырьковой камере Альвареса при импульсе первичных π^+ - мезонов 1170 Мэв/с. Нейтральные моды распада η - мезона наблюдались в 1500 двухлучевых событиях, связанных с γ - квантом, конвертированным на электрон-позитронную пару. Мы остановимся подробнее на работе Фасси и др. /2.19/, в которой с помощью электроники получены несколько более точные данные по соотношению нейтральных ветвей распада η - мезона. В этой работе наблюдалось фоторождение η - частиц при энергии γ - квантов 978 и 938 Мэв, используя электронный синхротрон на 1100 Мэв во Фраскати. Экспериментальная установка показана на рис. 4. Пучок γ - квантов падает на 7 см жидководородную мишень. Протоны отдачи с определенной энергией и под фиксированным углом регистрировались телескопом из искровых камер, который не регистрировал пионы. При этом направление и импульс η^0 однозначно определялись законами сохранения энергии и импульса. Вдоль линии полета η имелся черенковский счетчик полного поглощения из свинцового стекла для регистрации γ - лучей от распада η на совпадение с протоном отдачи. Энергия γ - квантов определялась по величине импульса анализатора. γ - лучи с энергией меньше 200 Мэв не запускали искровую камеру. Таким образом устранялся фон от фоторождения одиночного π^0 - мезона. С описанной установкой рождение и распад η - мезона можно было наблюдать двумя различными способами. Отметим, что в этом эксперименте нельзя было отличить распады $\eta \rightarrow 3\pi^0$ и $\eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$, и на самом деле измерялось отношение $R = \frac{\eta \rightarrow \gamma + \gamma}{\eta \rightarrow 3\pi^0 + \eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma}$. Можно предположить, однако, что распад $\eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$ будет маловероятным. Так как спин η - мезона 0, то распад $\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma$ строго запрещен.

1 способ. По спектру γ - квантов. Эксперимент ставился в условиях, когда энергия первичных γ - квантов была либо ниже, либо выше порога образования η^0 . Факт существования η - мезона был установлен по наличию дополнительного числа γ - квантов по отношению к фону от множественного рождения, как только образование η становилось кинематически возможным. Определение отношения двух ветвей распада $\eta \rightarrow 2\gamma$ и $\eta \rightarrow 3\pi^0$ основано на резком различии спектров γ - квантов от этих распадов. Спектр γ - квантов от распада $\eta \rightarrow 2\gamma$ вдоль линии полета η - мезонов, образованных в процессе $\gamma + p \rightarrow p + \eta$, почти монохроматичен с центром около 560 Мэв. В то время, как распады $\eta \rightarrow 3\pi^0$ или $\eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$ дают γ - кванты, которые имеют непрерывный спектр, обрывающийся около 500 Мэв. Как видно из рис. 5, при превышении порога рождения η^0 появляется дополнительный счет γ - квантов. Причем разность эффекта и фона ясно показывает наличие двух спектров. Отношение площадей под этими спектрами дает искомое отношение. R.

2. Метод ступеньки. Второй метод основан на том, что при появлении нового двухчастичного канала $\eta + p \rightarrow p + \eta^0$ в спектре протонов должна появляться ступенька. При этом так как спектры от распадов $\eta \rightarrow 2\gamma$ и $\eta \rightarrow 3\pi^0$ сильно отличаются, то имеется возможность разделить эти распады. Если регистрировать γ -кванты с энергией $E_\gamma > 400$ Мэв, то ступенька будет вызвана распадом $\eta \rightarrow 2\gamma$, если же регистрировать $240 < E_\gamma < 400$ Мэв, то должна появиться ступенька от распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$ или $\eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$. Отношение высот этих ступенек и даст отношение ветвей распада η -частицы. Среднее значение $R = \frac{\eta \rightarrow 2\gamma}{\eta \rightarrow 3\pi^0 + \eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma}$ определенное двумя методами, равно $0,8 \pm 0,25$. Путем комбинаций этой величины со всеми остальными данными /пренебрегая распадом $\eta \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$ / получают соотношения между вероятностями распадов, приведенные в таблице 1. Эти вероятности определены примерно с 30% точностью.

§ 3. ρ - мезон

Хронологически это был первый резонанс, обнаруженный в системе двух π -мезонов. После многочисленных попыток многих авторов найти резонанс, анализируя реакцию $\pi N \rightarrow \pi\pi N$, Эрвин и др.^{/3.8/} определили, наконец, то положение резонанса / $M_{\pi\pi} \approx 760$ Мэв/, которое считается в настоящее время общепринятым. На возможность существования резонанса с квантовыми числами $J=1, I=1$, впервые обратил внимание Дрелл,^{/3.34/} анализируя данные об электромагнитной структуре нуклона. Используя данные об изовекторной части формфакторов нуклона, Фрезер и Фулко^{/3.38/} количественно оценили параметры предполагаемого резонанса. Позднее эти параметры были оценены Баукоком и др.^{/3.37/}, которые привлекли также данные о πN -фазовых сдвигах. Теоретические предсказания положения и ширины резонанса вместе с первыми экспериментальными оценками приводятся в таблице.

Первые данные о ρ - резонансе

№№ п.п.	А в т о р ы	Положение резонанса		Ширина Γ /Мэв/	Заряд
		$M_{\pi\pi}$	/ Мэв/		
Теория					
1.	W.R.Frazer, J.R.Fulco ^{/3.36/}	3,18	440	80	
2.	F.J. Bowcock, W.N.Cottingham, D.Lurie ^{/3.37/}	4,7	660	110	
1.	J.Derado ^{/3.1/}	4,7	660		-
2.	E.Pickup, F. Ayer, E.O.Salant ^{/3.2/}	4,3	660		-
3.	J.G.Rushbrooke, D.Redojicic ^{/3.3/}	4,7	660		-
4.	J.S. Anderson et al. ^{/3.4/}	4,5 4,7	630-660	150	-
5.	D.Stonehill et al. ^{/3.5/}	5,0-5,5	700-770	90	+
6.	A.R.Erwin et al. ^{/3.6/}	5,37	750	150-200	-0
7.	E.Pickup, D.K.Rolinson, E.O.Salant ^{/3.7/}	5,4	754	130	-0
8.	J. Button et al. ^{/3.16/}	5,48	765	98	+-
9.	J. Button et al. ^{/3.16/}	5,5	768	112	0

На конференции было установлено, что ρ -мезон имеет квантовые числа $I = 1$, $J = 1$, $G = +1$. Правда, если предположить, что спин ρ -мезона равен 1, то сечение рассеяния $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$ при энергии, соответствующей резонансу, должно равняться $4\pi\lambda^2(2J+1) = 12\pi\lambda^2 = 120$ /здесь λ -комптоновская длина волны π -мезона в системе покоя ρ -мезона/. Однако сечение $\sigma_{\pi\pi}$, определенное методом Чу и Лоу^{/3.38/} из анализа реакции $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ в физической области переданных нуклоу импульсов, систематически получается меньше этого предела. По-видимому, это связано с неоднозначностью метода Чу и Лоу. Тем более, что сечения $\sigma_{\pi\pi}$ определяются не с помощью экстраполяции в нефизическую область, а в физической области переданных импульсов. Недавно Селери^{/3.39/} модифицировал формулу Чу и Лоу, учетом виртуальности π -мезона в одномезонной диаграмме для процесса $\pi N \rightarrow \pi\pi N$. При этом используется функция F , связанная с пионными формфакторами нуклона, которая была определена в работе Феррари и Селери^{/3.40/} из анализа одиночного рождения мезонов в нуклон-нуклонных столкновениях. С помощью формулы Селери получается удовлетворительное согласие сечения $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$ в области резонанса с ожидаемой величиной $12\pi\lambda^2$. Для иллюстрации на рис. 6 приводятся результаты расчетов сечения $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ до формулам Чу и Лоу и Селери, полученные в работе Алли и др.^{/3.33/} из анализа реакции $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^- + \pi^0 + \pi^0$ при импульсе 1,59 Гэв/с. Однако, несмотря на то, что квантовые числа ρ -мезона были установлены достаточно хорошо, поведение ρ -мезона остается довольно непонятным. Это относится прежде всего к изменению формы пика и положения максимума при различных энергиях падающих частиц. Как образно говорилось в докладе Пуипи^{/1.5/} "Профиль ρ -мезона очень похож на гору, приведенную в смятении землетрясением; профиль время от времени изменяется и на горе появляются протуберанцы". При этом причины сложного поведения пиков у заряженных и нейтрального ρ -мезона могут быть разные. Для заряженных ρ -мезонов причина, по-видимому, связана с тем, что время жизни ρ -мезона мало и он не успевает покинуть область взаимодействия до распада. Взаимодействие в конечном состоянии может привести к уширению резонанса и изменению положения пика. Для выяснения действительной ширины резонанса желательны точные эксперименты при больших энергиях $\sqrt{s} \sim 10$ Гэв/ - имеются в виду эксперименты $\pi N \rightarrow \pi\pi N$. После конференции опубликована всего одна работа, в которой исследовалось образование заряженных ρ -мезонов. Это работа Кармони и Ванде Ваяля,^{/3.27/} в которой изучались в водородной пузырьковой камере реакции $\pi^+ + \rho^- \rightarrow \pi^+ + \rho^0$ и $\pi^- + \rho^+ \rightarrow \pi^- + \rho^0$ при импульсе первичных π -мезонов 1,25 Гэв/с. Сечения $\pi^+\rho^- \rightarrow \pi^+\rho^0$ и $\pi^-\rho^+ \rightarrow \pi^-\rho^0$ оцениваются с помощью экстраполяционного метода Чу и Лоу. Отмечается, что из данных реакции с π^- / в отличие от реакции с π^+ / не видно преобладания одномезонного обмена в физической области

ти. Но величины $\sigma_{\pi^-\pi^0}$ и $\sigma_{\pi^+\pi^0}$, определенные с помощью линейной экстраполяции согласуются между собой и указывают на существование ρ^\pm -мезона с массой 725 ± 25 Мэв. Масса ρ^\pm -мезона в этом эксперименте несколько занижена, по-видимому, из-за того, что пик расположен на конце фазовой кривой.

Что касается неопределенности ширины и положения ρ^0 -мезона, то здесь помимо тех причин, о которых говорилось выше, существуют дополнительные причины: 1/ ω -мезон, масса которого близка к массе ρ^0 -мезона, может распадаться на $\pi^+\pi^-$ с нарушением G-четности /такой распад наблюдался экспериментально и обсуждается в следующем параграфе/. Это может привести к дополнительной интерференции между двумя амплитудами с разными спинами. 2/ Кроме того, в системе $\pi^+\pi^-$ в отличие от $\pi^\pm + \pi^0$ два π^- -мезона могут взаимодействовать в состоянии с изотопическим спином $I = 0$, что также может вызвать дополнительную интерференцию между амплитудами с различными изотопическими спинами. Иллюстрацией более сложного поведения системы $\pi^+\pi^-$ по сравнению с системой $\pi^\pm + \pi^0$ в области ρ -резонанса может служить величина асимметрии углового распределения одного из π^- -мезонов в системе центра масс дипиона относительно направления движения первичного пиона. Как видно из рисунка 7, если для систем $\pi^+\pi^0$ в области ρ -резонанса угловое распределение симметрично, что и должно наблюдаться для резонанса в чистом состоянии, когда интерференция мала, то для системы $\pi^+\pi^-$ имеется заметная асимметрия. Причем характер этой асимметрии меняется в зависимости от энергии первичного π^- -мезона.

Еще до конференции обсуждался вопрос о расщеплении пика ρ^0 -мезона, обнаруженного в работе J. Button и др. /3.16/, в которой изучалась реакция $\bar{p} + p \rightarrow 2\pi^+ + 2\pi^- + \pi\pi^0$ при импульсе 1,81 Гэв/с, на два пика: ρ_1^0 с массой 720 Мэв и шириной 20 Мэв и ρ_2^0 с массой 780 и шириной 60 Мэв. Такой эффект не обнаружен в работе /3.22/, где ρ^0 -мезон наблюдался в лучших фоновых условиях /анализировались случаи аннигиляции остановившихся антипротонов в реакции $\bar{p} + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ /. Поэтому можно считать, что двойная структура, обнаруженная в работе J. Button и др. является статистической флуктуацией.

На конференции докладывалась работа Колдвелла и др. /3.25/, в которой с помощью искровых камер регистрировались распады ρ^0 -мезонов, образованных π^- -мезонами с импульсом 12 и 17 Гэв/с в реакции $\pi^-\pi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi$. Наблюдаемый при массе 725 Мэв пик имеет ширину 40 Мэв, то есть намного уже, чем в опытах при энергиях π^- -мезонов /1-3/ Гэв. Но это пока единственный опыт, и он должен быть безусловно уточнен. Интересно отметить, что из дисперсионных уравнений для рассеяния $\pi^+ + \pi^- \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ не удается получить ширину ρ^- -мезона больше, чем 40 Мэв. /3.41/

После конференции появилась работа *Allis* и др., /3.93/ в которой исследуется реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$ в водородной пузырьковой камере при импульсе 1,59 Гэв/с. Положение и ширина максимума в сечении $\pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^-$, определенном по формуле Чу и Лоу и Селери равны: $M_p = 750$ Мэв и $\Gamma = 100$ Мэв.

Таким образом, проблема определения ширины и точного положения ρ -резонанса пока остается не решенной.

Схемы распада ρ -мезонов. Основные схемы распада $\rho^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ и /3.28/ $\rho^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$. Поиски 4-пионных распадов дают оценки меньше нескольких %. В работе *Белякова* и др. /3.31/ и *Любимова* и др. /2.15/ получены указания на возможность радиационного распада $\rho^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$.

В 4. ω -мезон

В 1957 г. *Намбу* /4.21/ обратил внимание на то, что весьма трудно понять большой радиус изоскалярной части нуклонного формфактора в опытах *Хофштадтера* /3.35/ и предположил возможность существования мезона, сильно связанного с нуклоном и имеющего те же квантовые числа, что и фотон /спин 1, четность отрицательная/. *Намбу* оценил, что для объяснения зарядового и магнитного формфактора масса такого мезона должна быть равной 670 Мэв. На этом основании предполагалось существование тяжелого векторного мезона с изотопическим спином $T = 0$, который распадается по схемам $\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$
 $\rightarrow \pi^0 + \gamma$

и таким образом мог быть обнаружен в процессах соударения при высоких энергиях.

Экспериментально ω -мезон был открыт в работе *В.С. Maglic* и др. /4.1/. При анализе распределения масс $\pi^+ + \pi^0 + \pi^-$ в аннигиляции протон-антипротон $\bar{p} + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ с импульсом антипротона 1,51 Гэв/с был обнаружен пик при $M = 785$ Мэв и шириной $\Gamma \leq 12$ Мэв. В этой же работе были установлены квантовые числа ω -мезона $I = 0$; $J = 1^-$; $G = -1$. На конференции эти квантовые числа были подтверждены,

Оставался неясным вопрос о нейтральных модах распада и о распаде $\omega \rightarrow 2\pi$

Распад $\omega \rightarrow \pi^+ + \pi^-$. Как впервые отмечал *Glashow*, /4.23/ ω может распадаться на 2π с нарушением G -четности по электромагнитному каналу. *Бернштейн* и *Файнберг* в работе под названием "Иголка в стоге сена" /4.20/

подсчитали спектр масс 2π от смеси ρ - и ω -мезонов. Этот спектр действительно имеет вид узкого, похожего на иглу пика ω -мезона на фоне широкого ρ -пика. В работе Fickinger и др. /4.16/, появившейся после конференции, сделана попытка дать оценку отношения $R = \frac{\Gamma(\omega \rightarrow 2\pi)}{\Gamma(\omega \rightarrow 3\pi)}$. С этой целью изучалась реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$ при импульсе 1,7 ГэВ/с в водородной пузырьковой камере. Было зарегистрировано 2137 событий, из них примерно 900 событий /без фона/ в области ρ -пика. На рис. 8 /а/ показано распределение эффективных масс для всех Δ^2 . Распределение имеет широкий пик в области 850-850, но оно асимметрично относительно 750 Мэв /393 события между 750 и 800 Мэв и 298 событий между 750 и 700/. Если предположить, что ρ имеет ту же массу и симметричное распределение, как ρ^\pm , то асимметрия может быть вызвана концентрацией событий в районе ω -пика - 780 Мэв. Для более отчетливого проявления ω -пика все события были разделены на три группы по величине Δ^2 : $\Delta^2 < 0,15$ Гэв/с, $0,25 \leq \Delta^2 \leq 0,70$ Гэв/с и $\Delta^2 > 0,070$ Гэв/с. В событиях с $\Delta^2 < 0,15$ Гэв/с ρ - наблюдается, а ω сильно подавлен /рис. 8 /б//. Авторы объясняют это тем, что в событиях с малой передачей импульса преобладает одномезонный обмен, в котором образование ω запрещено по G-четности. В событиях второй подгруппы /рис. 8 /в//, наоборот, отчетливо проявляется ω , а ρ подавлен. Наконец, в событиях с большой передачей импульса нуклону /рис. 8 /д// не проявляется ни ω , ни ρ что связано, по мнению авторов, с влиянием 3,3 изобары. В группе событий с $0,25 \leq \Delta^2 \leq 0,70$ Гэв/с в интервале 780-800 Мэв наблюдается над фоном 27 событий. Следовательно, распределение масс $\pi^+ \pi^-$ имеет пик с массой, близкой к массе ω на 4 стандартных отклонения выше фона.

Отношение $R = \frac{\Gamma(\omega \rightarrow 2\pi)}{\Gamma(\omega \rightarrow 3\pi)}$ было найдено подбором параметров из работы Бернштейна и Файнберга /4.20/ таким образом, чтобы описать экспериментальное распределение $(\pi\pi)$ -масс. Принимая во внимание, что отношение $\frac{\sigma_\omega}{\sigma_\rho} \Big|_{\text{макс.}} = 1$, были получены следующие оценки: $R \geq 0,05$, если ширина ω равна 10 Мэв, и $R \geq 0,07$, если ширина ω равна 1 Мэв. Это же отношение оценивалось в работе Shafar и др. /4.18/, в которой изучалась реакция $K^- + p \rightarrow \Lambda + \omega^0$ при импульсе K^- -мезонов 1,51 ГэВ/с в 72-дюймовой водородной пузырьковой камере. Величина R , определенная по 15 событиям $\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ оценивается = $1/4,8 \pm 1,2\%$. В этой же работе дается по 5 случаям оценка отношения

$$\frac{\omega^0 \rightarrow e^+ + e^-}{\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0} \leq 1\%$$

Обнаружение распада $\omega^0 \rightarrow \pi^0 + \gamma$. Существование распадов ω -мезона на нейтральные частицы было подтверждено экспериментально в нескольких работах /4.8, 11, 14/. Усредненное по результатам этих работ отношение вероятностей $\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0 / \omega \rightarrow \text{нейтр.} = 5 \pm 1$. Однако природа продуктов распада

ω^0 - мезона в этих работах не установлена. В работе Бармина и др.^{/4.18/} был обнаружен распад $\omega^0 + \pi^0 + \gamma$ и показано, что эта мода распада является преобладающей среди распадов на нейтральные.

Для изучения распада $\omega^0 + \pi^0 + \gamma$ исследовалась реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \omega$ на пучке π^- -мезонов от протонного синхротрона ИТЭФ в 17 л пузырьковой камере, наполненной смесью пропана C_3H_8 и ксенона. Опыты проводились при импульсах π^- -мезонов 1,25 Гэв/с, 1,55 Гэв/с и 2,8 Гэв/с. Было получено соответственно 11000, 20000 и 60000 стереоснимков. Искались случаи, когда три и больше e^+e^- - пар конверсии были направлены в точку остановки π^- -мезона, при условии, что остановка не сопровождается какими-либо следами ядерного взаимодействия /безлучевые звезды/. Фон в основном происходит от множественного рождения. Для выделения случаев распада $\omega^0 + \pi^0 + \gamma + 3\gamma$ использовался статистический кинематический метод, аналогичный методу, который был использован в работе Кретина и др.^{/2.13/} для обнаружения распада $\eta + \gamma + \gamma$. В случае распада $\omega^0 + 3\gamma$ направления трех γ -квантов в с.п.я. расположены на поверхности кругового конуса. Причем раствор этого конуса имеет минимальный угол β_{min} , зависящий только от массы ω^0 и от первичной энергии π^- -мезонов. Следовательно, при каждой фиксированной энергии π^- -мезонов имеется свой минимальный угол. На рис. 9 представлены распределения по углу β для событий, соответствующих реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + 3\gamma$ после вычитания фона. Стрелками указаны значения углов раствора β_{min} конуса распада для ω -мезона с массой 782 Мэв. Как видно из рис. 9, большинство событий находится в интервале углов, больших β_{min} , что доказывает, что эти распределения являются следствием распадов $\omega^0 + \pi^0 + \gamma + 3\gamma$. Небольшое количество случаев при углах $\beta < \beta_{min}$ может быть следствием статистической флуктуации, фоном от реакции $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Sigma^0 + \pi^0$ или неучтенными систематическими ошибками. Сравнение сечения образования $\omega^0 + \pi^0 + \gamma$ с сечением $\omega^0 + \pi^0$ - нейтральные показывает, что распад $\omega^0 + \pi^0 + \gamma$ является основным среди нейтральных мод распада. Отношение вероятностей $\frac{\omega^0 + 2\pi^0 + \gamma}{\omega^0 + \pi^0 + \gamma}$, усредненное по трем сериям измерений, составляет $\leq 0,1$.

Время жизни ω^0 . На конференции в Сиене /Италия/ была доложена работа,^{/4.24/} в которой более точно определена ширина ω^0 . Она равна 185 ± 21 Мэв., что соответствует среднему времени жизни $\tau = 10,69 \pm 0,15 \cdot 10^{-22}$ сек.

§ 5. ϕ - мезон

В предыдущих параграфах рассматривались свойства резонансов, о существовании которых было известно на Женевской конференции 1962 г. В этом и следующем параграфе обсуждаются работы, в которых открыты новые резонансы.

Ко времени конференции был известен только один векторный мезон с изотопическим спином $0-\omega$ - мезон.

Существование двух векторных мезонов с изотопическим спином 0 и отрицательной G-четностью впервые обсуждалось в рамках векторной теории сильных взаимодействий Сакураи /5.4/. Один из них должен быть связан с барионным током / V_B - мезон/, а другой с гиперзарядным током / V_Y - мезон/.

Позднее Gell-Mann /5.5/ построил симметричную модель, основанную на унитарной группе $SU(3)$, в рамках которой оба векторных мезона находят место: V_Y - мезон как член унитарного октета, и V_B - мезон - как унитарный синглет. Первое сообщение о возможном существовании второго векторного мезона появилось в 1962 г. в работе L. Bertanza et al. Окончательно существование резонанса, получившего название ϕ - мезон, и его квантовые числа установлены в работах P. L. Conroy et al. /Брукхейвен-Сиракузы/, /5.3/ P. Schlein et al. /Калифорнийский университет/, /5.2/ В работе /5.3/ изучались реакции



в 20-дюймовой водородной пузырьковой камере Брукхейвенской лаборатории, облученной K^- - мезонами с импульсом 2,33 Бэв/с. Всего проанализировано 36 событий в нейтральном канале /1/ и 22 события в заряженном канале /2/. Фон в канале /1/ вызван главным образом реакцией $K^- + p \rightarrow \Sigma^0 + K^0 + \bar{K}^0$ и оценивается в 10%. Кандидатами для канала /2/ считались случаи с распадом Λ^0 на заряженные. По этой причине заряженный канал свободен от фона.

На рис. 10 показан график Далица для квадратов эффективных масс $K\bar{K}$ и $\Lambda\bar{K}$ для 58 событий от обоих каналов. Превышение над статистическим распределением в области $M^2(K\bar{K}) = 1,04$ Гэв, очевидно. Вероятность случайного отклонения в этой области 10^{-8} . Для масс $M(K\bar{K})$ в области от 1000 до 1040 Мэв была построена идеограмма. Распределение имеет пик при значении массы 1019 ± 1 Мэв.

Спин и четность ϕ - мезона

Определение спина ϕ - резонанса основано на исследовании распадных свойств системы $K^0\bar{K}^0$ /5.6,7/. Дело в том, что система K^0 и \bar{K}^0 , как и любая система бозон-антибозон, обладает важной особенностью: ее комбинированная четность CP равна +1. С другой стороны, экспериментально наблюдаются короткоживущие X_1^0 - мезоны / $\tau = 0,9 \cdot 10^{-10}$ сек./, обладающие $CP = +1$ и долгоживущие K_2^0 - мезоны / $\tau = 8,10 \cdot 10^{-8}$ сек./, имеющие $CP = -1$. Пары $K_1^0\bar{K}_1^0$ и $K_2^0\bar{K}_2^0$ в силу тождественности входящих в них частиц всегда находятся

в состояниях с четными моментами / $\ell = 2m$ / и обладают комбинированной четностью $CP = +1$. Комбинированная четность пары $K_1^0 K_2^0$ равна $-1/\ell+1$. Поэтому если эта пара образовалась из пары $K^0 \bar{K}^0$, обладающей $CP = +1$, то для нее возможны только нечетные орбитальные моменты $\ell = 2m + 1$. Таким образом, если система $K \bar{K}$ распадается по каналам $K_1^0 K_1^0$ и $K_2^0 K_2^0$, то она обладает четным спином, если по каналу $K_1^0 K_2^0$, то нечетным.

Имея ввиду эту связь, подсчитали для обеих гипотез-спинов четный и спин нечетный /или что то же самое - четность положительную или четность отрицательную, т.к. $P = (-1)^J$ /, ожидаемое отношение ϕ -распадов к экспериментально наблюдаемым вариантам конечных состояний канала /1/, которые обозначаются по видимым вилкам так: $\Lambda K_1^0 K_1^0$, ΛK_1^0 и $K_1^0 K_1^0$. Ожидаемые относительные числа $\Lambda K_1^0 K_1^0$, ΛK_1^0 и $K_1^0 K_1^0$ даны в таблице.

Т а б л и ц а

Т и п ы канала /1/	Предсказываемые относительные ч и с л а		Наблюдаемые относительные числа для со- бытий в пике
	$P = -1$ $K_1^0 K_2^0$	$P = +1$ $K_1^0 K_1^0, K_2^0 K_2^0$	
$\Lambda K_1^0 K_1^0$	0	0,4	$0 \pm 0,04$
ΛK_1^0	1	0,4	$1 \pm 0,2$
$K_1^0 K_1^0$	0	0,2	$0 \pm 0,04$

Как видно из таблицы, в пике наблюдаются только $\Lambda + K_1^0$ и нет ни одного события $\Lambda K_1^0 K_1^0$ и $K_1^0 K_1^0$. Отсюда следует, что четность отрицательная и спин ϕ - мезона нечетный /наиболее вероятные значения $J = 1$ или $3/$. Дальнейшая информация о спине может быть получена из рассмотрения относительной вероятности распада

$$\alpha = \frac{\phi + K_1^0 K_2^0}{\phi + K_1^0 K_2^0 + K^+ K^-}$$

При отсутствии разности масс K^+ и K^0 и кулоновских эффектов α не должно зависеть от J . Зависимость α_j от спина появляется из-за различия угловых моментов и кулоновского барьера систем $K_1^0 K_2^0$ и $K^+ K^-$. Теоретические оценки дают, что $\alpha_{j=1} = 0,39$; $\alpha_{j=3} = 0,26$.

Экспериментальное значение $\alpha = 0,45 \pm 0,10$. Таким образом, наблюдаемое отношение K -мезонных мод распада находится в хорошем согласии с гипотезой $J = 1$ и противоречит гипотезе $J = 3$ на две стандартных ошибки.

Ширина резонанса. Ширина резонанса в работе ^{15,3/} определялась по модифицированной формуле Брейта-Вигнера с учетом экспериментального разрешения / $\Gamma_{рез.} = 1/3 \pm 1$ Мев/. При этом использовались только заряженные пары.

Учитывая фазы и статистические ошибки, $\Gamma = 1_{-1}^{+2}$, причем $\Gamma > 0$. Более точное значение ширины ϕ -мезона получено в работе Гелфанда и др. /5.10/, в которой изучалась аннигиляция остановившихся антипротонов в реакции $\bar{p} + p \rightarrow K^+ K^- + \pi^+ \pi^-$. По данным этой работы, $\Gamma = /3.1 \pm 1.0/ \text{ Мэв}$.

Изотопический спин и G - четность.

Так как G - четность системы $K^0 \bar{K}^0$ равна $/-1/^{J+1}$, где J - угловой момент, равный в рассматриваемом случае 1, а I - изотопический спин, то значение изотопического спина можно получить, зная G-четность ϕ -мезона. Если бы G - четность ϕ -мезона была +1, то был бы разрешен распад на 2π и этот распад из-за отношения фазовых объемов и прозрачности барьера должен быть преобладающим (в зависимости от принятого радиуса взаимодействия $\phi \rightarrow 2\pi / \phi \rightarrow K\bar{K} = 10 - 20$). Двухпионный распад исследовался по распределению $M(\pi^+ \pi^-)$ от реакции $K^- + p \rightarrow \Lambda + \pi^+ + \pi^-$. Верхний предел для отношения распадов

$$\frac{\phi \rightarrow 2\pi}{\phi \rightarrow K + \bar{K}} = \frac{5}{19+23} < 0,2.$$

Как видно, экспериментальная величина отношения на два порядка отличается от теоретической. Отсюда следует, что ϕ имеет отрицательную G - четность. Следовательно, $/-1/^{J+1} = -1$, и изотопический спин ϕ -мезона равен 0.

Таким образом, ϕ - векторный мезон с отрицательной G -четностью и I = 0. Все данные о ϕ -мезоне приводятся в таблице.

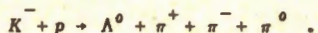
В работе P. Schlein и др. /5.2/ изучались те же реакции /1/ и /2/ при импульсе 1,95 Гэв/с. Было зарегистрировано 24 события, соответствующих реакции /1/, и 10 событий, соответствующих реакции /2/. Результаты полностью согласуются с работой P.L. Connelly и др. /5.3/

Используя данные по угловым распределениям продуктов распада ϕ -мезона, авторы приводят дополнительные аргументы в пользу спина J = 1. Для случаев, когда ϕ -мезон вылетал в направлении, близком к направлению пучка $/\cos\theta > 0,5/$, строилось распределение распадов в зависимости от величины $\mu = \vec{i} \cdot \vec{k}$ /видоизмененный анализ Эдера /5.8/, где \vec{i} - направление первичного пучка, \vec{k} -направление K^- /или K_1^0 / в системе покоя ϕ . Для этих событий гипотеза J = 0 противоречит опыту на ≈ 4 стандартных ошибки, а сравнение с J = 1 и J = 3 показывает, что J = 1 в 4 раза более вероятно, чем J = 3.

Схемы распада ϕ -мезона.

Конкурирующей схемой распада ϕ -мезона с квантовыми числами 1^{--} на $K + \bar{K}$ должен быть распад $\phi \rightarrow 3\pi$ и, в частности, распад $\phi \rightarrow \rho + \pi$.

который может оказаться более вероятным из-за большей величины двухчастичного фазового объема по сравнению с трехчастичным. Распад $\phi \rightarrow \rho + \pi$ исследовался в реакции



Экспериментальное отношение $\beta = \frac{\phi \rightarrow \rho + \pi}{\phi \rightarrow K + K} = 0,35 \pm 0,2$. Теоретические оценки /5.9/ дают для β величину 3-4, то есть на порядок больше экспериментального значения. Однако на самом деле противоречие может быть не столь сильным, так как теоретические оценки очень грубые.

§ 8. f^0 - мезон

Предположение о существовании мезона с квантовыми числами вакуума, кроме спина, то есть с изотопическим спином $I = 0$ и четностью $P = +1$, высказывалось в работе Чу и Фраучи /6.9/. Предполагая, что эта частица лежит на вакуумной траектории Редже и имеет спин $J = 2$, предсказывалось, что масса ее должна быть ≈ 1000 Мэв /траектория Редже в области больших масс не вычислялась, а получалась путем линейного продолжения/. Такая частица может распасться на четное число π -мезонов.

Первые экспериментальные указания на возможность существования максимума в спектре масс $\pi^+ + \pi^-$ за пиком от ρ -мезона были получены в работе Шаламова и Грашина /6.1/, в которой изучалась реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + \pi$ при импульсе первичного π^- -мезона 2,8 Гэв/с на свободных и квазисвободных протонах рабочей смеси $C_2H_2 + Xe$ в 17-литровой пузырьковой камере. Однако камера работала без магнитного поля, и энергия вторичных частиц не измерялась. Идентификация быстрых частиц не проводилась; считалось, что частицы с ионизацией $< 1,5 - 2$ от ионизации первичных π -мезонов являются π -мезонами. Идентифицировались только медленные частицы с ионизацией 1,5-2. Спектр масс $\pi^+ \pi^-$ вычислялся из углового распределения пар $\pi^+ \pi^-$ в лабораторной системе координат. При этом нужно было делать предположения об энергетическом спектре нейтронов и угловом распределении π -мезонов в их системе центра. В полученном таким образом спектре масс $\pi^+ \pi^-$ наблюдался максимум при значении $M_{\pi^+ \pi^-} = 1400$ Мэв; квантовые числа не определялись. Вскоре после этого Gniragossian и др. /6.2/ сообщили об обнаружении резонанса в спектре масс $\pi^+ \pi^-$ от той же реакции при значении $M_{\pi^+ \pi^-} = 990$ Мэв^{x/} в точном соответствии с предсказаниями Чу и Фраучи. Реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi$ и $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$ изучались в водородной пузырьковой камере при энергии

x/ При увеличении статистики максимум сместился к 1250 Мэв в согласии с результатами Силова и др. /6.3/.

первичных π^- -мезонов 3,3 Гэв. Так как в спектре масс $\pi^- \pi^0$ аналогичного пика не наблюдалось, то отсюда следовало, что спин предполагаемого резонанса $I = 0$.

Принятое теперь значение положения пика /при 1250 Мэв/ впервые было получено в работе Силова и др.^{/6.3/}. Реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$ /264 события/ и $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + n$ /348 событий/ изучались при импульсе первичного π^- -мезона 3 Гэв/с в водородной пузырьковой камере. Вывод о существовании пика при 1250 Мэв в системе $\pi^+ \pi^-$ основан на различии между распределениями масс $\pi^- \pi^0$ и $\pi^+ \pi^-$ /рис. 11/. Распределение масс $\pi^- \pi^0$ за ρ^- -пиком полностью согласуется с распределением фазового объема. Распределение масс $\pi^+ \pi^-$ сильно отличается от фазового распределения. Если сравнить числа случаев в интервалах от 50 до 100 Мэв, взятых из области 1000-1600 Мэв, с соответствующими числами случаев по статистическому распределению, то вероятность согласия данных с фазовым объемом примерно 1/1000. Пик находится при значении $M_{\pi^+ \pi^-} = 1250 \pm 25$ Мэв и имеет ширину $\Gamma = 100 \pm 50$ Мэв. Позднее пик наблюдался в работе Veillet и др.^{/6.4/} - $M_{\pi^+ \pi^-} = 1280 \pm 35$ Мэв, $\Gamma < 200$ Мэв, в которой реакция $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$ /457 случаев/ изучалась при импульсе первичного π^- -мезона 6,1 Гэв/с в 300-литровой камере с тяжелым наполнением /смесь $CF_3 Br - C_2H_6$ /. Bondar и др.^{/6.8/} наблюдали пик при $M_{\pi^+ \pi^-} = 1260$ и $\Gamma = 160$ Мэв, в реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$ /630 случаев/ при импульсе 4 Бэв/с. Guiragossian^{/6.8/} в той же реакции /532 события при энергии 3,3 Гэв/ наблюдал пик при 1250 Мэв с шириной $\Gamma = 200$ Мэв. Дополнительный аргумент в пользу существования резонанса при 1250 Мэв основан на изучении асимметрии углового распределения π^- -мезона в системе центра масс $\pi^+ + \pi^-$ относительно направления первичного π^- -мезона. На рис. 12 в показана зависимость коэффициента асимметрии $\frac{N_{\text{вп}} - N_{\text{н}}}{N_{\text{вп}} + N_{\text{н}}}$ от массы $\pi^+ \pi^-$. Как видно из рисунка в области массы f^0 -коэффициент асимметрии близок к нулю, что и должно наблюдаться в случае $\pi - \pi$ резонанса в отсутствии интерференции с фоном.

Изотопический спин f^0 -мезона

Во всех работах f^0 -мезон проявляется в спектре масс $\pi^+ \pi^-$ и не обнаружен в системе $\pi^- \pi^0$ /I=1и 2/. Отсюда следует, что изотопический спин f^0 -мезона равен 0.

Спин и четность f^0 -мезона

f^0 -мезон имеет большую ширину и, следовательно, распадается по сильному каналу с сохранением четности и G-четности. Так как обнаружен распад f^0 на два π^- -мезона, то отсюда следует $G_{f^0} = +1$. Так как изотопический спин f^0 -четный, то спин f^0 -мезона должен быть четным, а т.к. четность

равна $-1/2$, то она должна быть положительной, то есть спин-четность может быть: $0^+, 2^+, 4^+$ и т.д. В работе *Véillet* и др. ^{/6.4/} и Силова и др. ^{/6.3/} показано, что спин f^0 больше 0. Этот вывод следует из углового распределения π^- -мезонов в системе центра $\pi^+ \pi^-$ в области f^0 -мезона и из углового распределения π^- -мезонов относительно направления диплона /анализ Эдера/. ^{/6.10/} Эти распределения не изотропны и имеют пики в переднем и заднем направлениях. Вероятность того, что изотропия может привести к такому распределению 1:500. Следовательно, нулевое значение спина противоречит угловым распределениям.

В работе *L. Bondar* и др. ^{/6.6/} приводятся аргументы в пользу спина 2. Они основаны на сравнении сечения $\pi^+ \pi^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$ в области f^0 -мезона с геометрическим значением, которое в резонансе должно равняться $4\pi\lambda^2(2J+1)$, здесь λ - комптоновская длина волны π^- -мезона в системе центра f^0 , J - спин f^0 -мезона.

Сечение вычислялось по формуле Селери ^{/3.39/} /см. § 3/. На рис. 13 показаны сечения $\pi\pi$ и геометрические пределы для значений спина f^0 : 0, 2 и 4 /коэф. 4/9 учитывает распад $f^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ /. Как видно из рис. , подсчитанные сечения противоречат спину 0 и 4 и согласуются со спином 2.

Таким образом, из имеющихся в настоящее время экспериментальных данных следует, что наиболее вероятные квантовые числа $f^0 - 2^{++}$.

В работах ^{/6.11,12/} обсуждался вопрос о том, лежит ли экспериментально обнаруженный f^0 мезон на вакуумной траектории. Вывод таков: f^0 может принадлежать вакуумной траектории, но, возможно, что существует еще одна вакуумная траектория с соответствующим ей еще одним мезоном с изотопическим спином 0. Масса этого мезона оценивается равной примерно 1800 Мэв ^{/6.11/}. Однако все эти расчеты выполнены в двухчастичном приближении, и надежность их в области масс 1000-2000 Мэв, по-видимому, невелика.

Схемы распада

До сих пор наблюдалась лишь одна ветвь распада $f^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, f^0 - мезон должен распадаться также на нейтральные мезоны $f^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$. В работе *Bondar* и др. ^{/6.6/} дается верхний предел для распада на $2\pi^+ + 2\pi^-$. Отношения ветвей

$$\frac{f^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^- + \pi^-}{f^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-} < 0,08 + 0,06.$$

Если квантовые числа f^0 равны 2^{++} , то он может распадаться также на пары $K^+ K^-$, $K^0 \bar{K}^0$ (K_s^0, \bar{K}_s^0).

§ 7. ζ - пик

В этом параграфе обсуждается широко известный "резонанс", существование которого не подтвердилось в дальнейших экспериментах.

Об обнаружении ζ - мезона сообщалось в работах /7.1,11/; в которых изучалась реакция $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^0 + p$ в водородной пузырьковой камере при энергиях первичного π^+ - мезона 820, 900 и 1050 Мэв (соответственно 347, 274 и 315 событий). По последним данным, /7.11/ спектр масс $\pi^+ \pi^0$ сравнивался с предсказаниями изобарной модели Штейнхаймера-Линденбаума /7.13/ и статистическим распределением. Общее поведение спектра находится в лучшем согласии с изобарной моделью. Однако в распределении масс $\pi^+ \pi^-$ имеется пик около 600 Мэв. Пик более отчетливо проявляется при первичной энергии π^+ - мезонов 900 Мэв, при энергии 820 Мэв пик становится много шире, а при 1050 Мэв почти исчезает, что объясняется влиянием p - мезона. Авторы рассмотрели влияние изобары на спектр $\pi^+ \pi^0$. Для этого было построено распределения $M_{\pi^+ \pi^0}$ отдельно для случаев, имеющих импульс π^+ или π^0 , равный импульсу мезона отдачи от распада /3,3/-изобары, и для остальных случаев /последние считались событиями не изобарного происхождения/. Для случаев не изобарного происхождения кажется, что пик проявляется более сильно и примерно при одинаковых значениях массы /590 \pm 20/ Мэв. Отмечалось также, что пик проявляется более отчетливо не в периферических столкновениях, а в столкновениях с большой передачей импульса нуклоны. Полная ширина пика на полувысоте равна 40 Мэв. Так как экспериментальное разрешение такого же порядка, то, следовательно, действительная ширина ζ меньше 40 Мэв. В распределении масс $M_{\pi^+ \pi^+}$ от реакции $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + p$ при тех же энергиях нет никаких пиков. Отсюда делается вывод, что изотопический спин ζ - мезона равен 1. Однако нельзя было полностью отвергнуть возможность того, что наблюдаемый авторами пик является результатом статистических флуктуаций. Поэтому вывод авторов нуждался в дальнейшем подтверждении. Некоторым подтверждением выводов была работа B.S.Zom, в которой изучалась реакция $p + p \rightarrow d + \pi^+ + \pi^0$ в водородной пузырьковой камере и наблюдался узкий пик при $M_{\pi^+ \pi^0} = 560$ Мэв. Следует отметить, что эта реакция очень удобна для изучения $\pi - \pi$ взаимодействия, так как $\pi - N$ взаимодействие здесь сильно подавлено, а система $\pi^+ + \pi^0$ из-за того, что изотопический спин дейтона равен 0, образуется только в состоянии с изотопическим спином 1. Но в этой работе статистика была намного меньше, чем в предыдущей /всего 14 событий в пике/.

На конференцию был представлен ряд работ /7.6-8/, в которых ζ - мезон не был обнаружен. Следует отметить работу H. Foelsche и др. /7.7/ /см. также D.L. Stonehill /7.9/, в которой реакция $\pi^+ + p \rightarrow p + \pi^+ + \pi^0$ изучалась примерно в той же области энергий со статистикой в 3 раза большей, чем в работе /7.1/ Пик соответствующий ζ - мезону, не обнаружен ни в событиях с малой передачей импульса, ни в событиях с большой передачей импульса нуклоны /импульс протона > 500 Мэв/с/. После конференции появились новые работы, в которых ζ - мезон

тоже не обнаружен. *F. Tarkot* и др. ^{/7.10/} изучали образование пионных резонансов в реакции $p + p \rightarrow d + X$, измеряя с помощью счетчиков импульсный спектр дейтронов под 0° . Спектры измерялись при энергиях протонов 1,55; 1,93; 2,12 и 2,50 Гэв с разрешением по импульсу 2% и статистической точностью 3%.

X - частица могла иметь массу от $2 m_\pi$ до $7 m_\pi$. При энергии 2,5 Гэв обнаружен только ρ - мезон с массой 750 Мэв. Ни в одном из измеренных спектров не было найдено убедительных указаний на существование ζ - мезона с массой 560 Мэв.

Наконец, против существования ζ - мезона говорит тот факт, что спектр масс $\pi^+ \pi^0$ при энергиях ниже 1 Бэв может быть вполне удовлетворительно описан модифицированной изобарной моделью ^{/7.12/}, в которой учитывается только πN взаимодействие в состоянии $3/2, 3/2$. Как известно, главные предположения изобарной модели Лянденбаума и Штейнхаймера ^{/7.13/} состоят в следующем:

1/ можно пренебречь интерференцией между двумя возможными каналами образования изобары с одним из двух π - мезонов;

2/ изобара образуется в S - состоянии;

3/ изобара распадается изотропно в собственной системе центра масс.

S. Bergia и др. ^{/7.14/} модифицировали эту модель, учтя интерференцию между двумя каналами образования изобары. *M. Olsson* и *G. B. Yodh* ^{/7.12/} учли еще P - волновой распад изобары. На рис. 14 показаны спектры масс $\pi^+ \pi^0$ в сравнении с предсказаниями модифицированной изобарной модели. Как видно, эксперимент удовлетворительно описывается теоретической кривой и нет статистически достоверных отклонений в области ζ - мезона.

Таким образом, в настоящее время нет статистически достоверных экспериментальных указаний на существование ζ - мезона ^{x/}.

Кроме работ, рассмотренных в этом обзоре, существует целый ряд сообщений, в которых делаются выводы об обнаружении новых пионных резонансов. Все эти выводы, на наш взгляд, нуждаются в уточнении и по этой причине не обсуждаются в обзоре.

x/ В недавно опубликованной работе *Alliti* и др. ^{/3.33/} обнаружено отклонение от фазового объема спектра масс $\pi^+ \pi^0$ в области 550 Мэв примерно на две стандартные ошибки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры

1. R.H. Dalitz. BNL-735. Three Lectures on Elementary Particle Resonances Brookhaven, 1961.
2. J.F. Deteouf. The Aix. en-Provence Intern. Conf., p. 57, 1961. Les isobares des Nucleons et les Etats Resonnants des Sistems de Plusieurs Mesons.
3. G.R. Lynch. Proc. Phys. Soc., 80, 46, 1962. Experimental Data on New Resonances.
4. Сборник "Вопросы физики элементарных частиц", Ереван, 1962. Л.И.Липидус. Резонансные состояния сильновзаимодействующих частиц, стр. 9. Я.М. Селектор. ρ и ζ - мезоны. Обзор экспериментальных данных, стр. 54. С.Я. Никитин. Трехпионные резонансы / ω и η мезоны/, стр. 77.
5. G. Puppi. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 713, 1962. Interactions of pions, nucleons and antinucleons.
6. M. Roos. Rev. Mod. Phys., 35 314, 1963. Tables of Elementary Particles and Resonant States.

2. η - мезон

1. A. Pevsner, R. Kraemer, M. Nussbaum, C. Richardson, P. Schlein, R. Strand, and T. Toohig, M. Block, A. Engler, R. Gessaroli and C. Meltzer, Phys. Rev. Lett., 7, 421, 1961. Evidence for a three-pion resonance near 550Mev.
2. P.L. Bastien, J.P. Berge, O.L. Dahl, M. Ferro-Luzzi, D.H. Miller, J.J. Murray, A.H. Rosenfeld and M.B. Watson. Phys.Rev. Lett., 8, 114, 1962. Decay modes and width of the η -meson.
3. D.D. Carmony, A.H. Rosenfeld and R.T. Van de Walle. Phys. Rev.Lett., 8, 117, 1962. Evidence that the η -meson has isospin zero.

x/ Экспериментальные работы приведены в хронологической последовательности. Ссылки на цитированные в каждом разделе теоретические работы приводятся в конце списка литературы.

4. E. Pickup, D.K. Robinson and E.O. Salant, Phys. Rev. Lett., 8, 329, 1962. Three-pion mass distributions and the η - meson.
5. A.H. Rosenfeld, D.D. Carmory and R.T. Van de Walle, Phys. Rev. Lett., 8, 293, 1962. Search for ρ -meson decay into $\eta + \pi$.
6. C. Mencuccini, R. Ouerzoli, G. Salvini and V.G. Silvestrini, Proc. Intern. Conference at CERN, p. 33, 1962. A first evidence of a radiative decay mode of the intermediate pion resonance ($M = 550$ MeV).
7. H. Foelsche, E.C. Fowler, H.L. Kraybill, T.R. Sanford and D. Stonehill. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 36, 1962. $\pi^+ - p$ interactions near 1 GeV. Phys. Rev. Lett., 9, 223, 1962. Properties of the η -meson.
8. C. Alff, D. Colley, N. Gelfand, U. Nauenberg, D. Riller, J. Steinberger, T. Tau, H. Brugger, P. Kramer and R. Plano, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 50, 1962. Preliminary results on the production and decay properties of the ω , η and ρ mesons and other resonances in π^+ proton collisions at 2.35, 2.6 and 2.9 GeV/c. Phys. Rev. Lett., 9, 322, 1962. Production of pion resonances in $\pi^+ p$ interactions. Phys. Rev. Lett., 9, 325, 1962. Decay of the ω and η -mesons.
9. T. Toohig, R. Kraemer, L. Madansky, M. Meer, M. Nussbaum, A. Pevsner, C. Richardson, R. Strand and M. Block, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 99, 1962. An analysis of the production of η - and ω -mesons by the interactions of pions with deuterium.
10. M. Meer, R. Strand, R. Kraemer, L. Madansky, M. Nussbaum, A. Pevsner, C. Richardson, T. Toohig, M. Block, S. Orenstein and T. Fields, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 103, 1962. The decays of the η - and the ω - mesons.
11. M.C. Foster, M.L. Good, R.P. Matsen, M.W. Peters, G.W. Tauffest and R.B. Wilimann, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 108, 1962. Multiple pion production by 1275 MeV/c pions.
12. J. Button-Shafer, M. Ferro-Luzzi, J. Murray, M.L. Stevenson and F.T. Solmitz, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 307, 1962. $\Lambda \pi^+ \pi^- \pi^0$ and $\Lambda^+ \pi^0$ neutral final states in $K^+ + p$ interactions at K^- momenta of 1.22 and 1.51 GeV/c.
13. M. Chretien et al., Phys. Rev. Lett., 9, 127, 1962. Evidence for spin zero of the η from the two gamma-ray decay mode.
14. R. Ouerzoli and V. Silvestrini, Nuovo Cim., 27, 555, 1963. On the quantum numbers of the η particle.
15. V.B. Lybinov, Mu Jun, M.L. Podgoretsky, S.L. Portnova, V.N. Streltsov and Z. Trka, Physics Letters, 3, 287, 1963; JETP, 44, 760, 1963. γ - quanta production in the interaction of 7 GeV π^- -mesons with nuclei.
16. E.C. Fowler, F.S. Crawford, Jr, L.J. Lloyd, R.A. Grossman and L. Price, Phys. Rev. Lett., 10, 110, 1963. Experimental determination of the branching ratio $\Gamma(\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma) / \Gamma(\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)$.
17. L. Behr, P. Mittner and P. Musset, Physics Letters, 4, 22, 1963. Direct Measurement of the η decay into two γ .

18. F.S. Crawford, Jr., L.J. Lloyd and E.C. Fowler. Phys. Rev. Lett., 10, 546, 1963, Experimental determination of the neutral branching ratios of the η -meson.
19. C. Bacci, G. Penso, G. Salvini, A. Wattenberg, C. Mencuccini, R. Ouerzoli and V. Silvestrini, Phys. Rev. Lett., 11, 37, 1963, Photoproduction and neutral decay modes of the η particle.
20. В.Г. Гришин, М.И. Подгорецкий. Препринт ОИЯИ Р-1300, Дубна, 1963. Электромагнитные распады η -частиц.
21. Л.Д. Ландау. ДАН, 60, 207, 1948. О моменте системы из двух фотонов.
22. И.Ю. Кобзарев, Л.Б. Окунь, ЖЭТФ, 43, 1288, 1962. О возможных распадах новых мезонов.
23. G. Feinberg, A. Pais, Phys. Rev. Lett., 9, 45, 1962. Electromagnetic effects on decays of G₃ eigenstates.
24. M. Gell-Mann, D. Sharp, W.G. Wagner. Phys. Rev. Lett., 8, 261, 1962. Decay rates of neutral mesons.
25. R.H. Dalitz. Phil. Mag., 44, 1068, 1953. On the analysis of τ -meson data and the nature of the τ -meson.

3. ρ -мезон

1. I. Derado, Nuovo Cim., 15, 853, 1960. Experimental evidence for the pion-pion interaction at 1 GeV.
2. E. Pickup, F. Ayer and E.O. Salant, Phys. Rev. Lett., 5, 161, 1960. Single pion production in 0,96 BeV π^- -p interactions.
3. J.G. Rushbrooke and D. Radojicic, Phys. Rev. Lett., 5, 567, 1960. Search for resonance in π - π interaction in π -N scattering at 0,96 BeV.
4. J.A. Anderson, V.X. Bang, P.G. Burke, D.D. Carmony and N. Schmitz, Rev. of modern Physics, 33, 431, 1961. Pion-pion Interactions, Phys. Rev. Lett., 6, 365, 1961. Experimental results of the π - π cross section.
5. D. Stonehill, C. Baltay, H. Courant, W. Fickinger, E.C. Fowler, H. Kraybill, J. Sandweiss, J. Sanford and H. Taft, Phys. Rev., Lett., 6, 624, 1961. Pion-pion interaction in pion production by π^+ -p collisions.
6. A.R. Erwin, R. March, W.D. Walker and E. West, Phys. Rev. Lett., 6, 628, 1961. Evidence for a π - π resonance in the $l=1, j=1$ state.
7. E. Pickup, D.K. Robinson and E.O. Salant, Phys. Rev. Lett., 7, 192, 1961. π - π resonance in π^- -p interactions at 1,25 BeV.
8. D. McLeod, S. Richert and A. Silverman, Phys. Rev. Lett., 7, 383, 1961. Evidence for a pion-pion resonance from photoproduction of pion pairs.
9. D.D. Carmony and R.T. Van de Walle. Phys. Rev. Lett., 8, 73, 1962. Differential π - π cross sections: evidence for the spin of the ρ -meson.

10. Я.Я. Шаламов, А.Ф. Грашин. ЖЭТФ, 42, 1115, 1962. Данные о π - π взаимодействии из реакций рождения π -мезонов в π - p соударениях I.
11. А.Ф. Грашин, Я.Я. Шаламов. ЖЭТФ, 42, 1140, 1962. О спине ρ -мезона.
12. М.С. Айнутдинов, С.М. Зомбковский, С.Я. Никитин, Я.М. Селектор, А.Ф.Грашин. ЖЭТФ, 42, 1413, 1962. π - π взаимодействие в π - p столкновениях при энергии 7,2 Гэв.
13. Я.Я. Шаламов, А.Ф. Грашин. ЖЭТФ, 43, 21, 1962. Данные о π - π взаимодействии из реакции рождения π -мезонов в π - p соударениях II. Рождение ρ^0 -мезонов.
14. B.S. Zorn. Phys. Rev. Lett., 8, 282, 1962. Pion-pion resonances in a pure $T = 1$ state.
15. A.H. Rosenfeld, D.D. Carmony and R T. Van de Walle. Phys. Rev. Lett., 8, 293, 1962. Search for ρ -meson decay into $\eta + \pi$.
16. J. Button, G.R. Kallfleisch, G.R. Lynch, B.C. Maglic, A.H. Rosenfeld and M.L. Stevenson. Phys. Rev., 126, 1858, 1962. Pion-pion interaction in the reaction $\bar{p} + p \rightarrow 2\pi^+ + 2\pi^- + \pi^0$.
17. J. Alliti et al. Nuovo Cim., 25, 365, 1962. Investigation of resonant π - π interaction in the $J=1$, $T=1$ state.
18. H. Foelsche, E.C. Fowler, H.L. Kraybill, J. R. Sanford and D. Stonehill. Proc. Intern. Conf. at CERN, 36, 1962. $\pi^+ + p$ interactions near 1 GeV.
D.L. Stonehill and H.L. Kraybil. Rev. Mod. Physic, 34, 503, 1962. Pion-pion interactions in $\pi^+ - p$ collisions.
19. W.D. Walker, E. West, A.R. Erwin, R.H. March, Proc. Intern. Conf. at CERN, 42, 1962 ω and ρ production.
20. C. Alff, D. Colley, N. Gelfand, U. Nauenberg, D. Riller, J. Steinberger, T.H. Tau, H. Brugger, P. Kramer and R. Plano. Proc. Intern. Conf. at CERN, 50, 1962. Preliminary results on the production and decay properties of the ω , η and ρ mesons and other resonances in π^+ proton collisions at 2,35, 2,6 and 2,9 GeV/c. Phys. Rev. Lett., 9 322, 1962. Production of pion resonances in $\pi^+ p$ interactions.
21. C. Grote, J. Klabuhn, J. Klugow, U. Krecker, U. Kundt, K. Lanius, U.W. Meier, S. Nowak and R. Pose. Proc. Intern. Conf. at CERN, 64, 1962. Evidence for the ρ^0 - meson in $\pi^- - p$ interactions at 7,8 GeV/c.
22. G.B. Chadwick, W.T. Davies, M. Derrick, C.J.B. Hawkins, J.H. Mulvey, D. Radojčić, C.A. Wilkinson, M. Cresti, S. Limentani, and R. Santangelo. Proc. Intern. Conf. at CERN 69, 1962. Phys. Rev. Lett., 10, 62, 1962. A study of the annihilation of stopped antiprotons in hydrogen: the reaction $\bar{p} + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$.
23. G.B. Chadwick et al Proc. Intern. Conf. at CERN, 73, 1962. Production and decay of the ρ - and ω -mesons in antiproton annihilation.
24. T. Ferbel, J. Sandweiss, H.D. Taft, M. Gaillood, T. Morris, R. Lea and T.E. Kalogeropoulos. Proc. Intern. Conf. at CERN 76, 1962. Elastic scattering and multipion annihilations of 3,25 GeV/c antiprotons in hydrogen.

25. D.O. Caldwell, E. Bleuler, B. Elsner, L.W. Jones and B. Zacharow. Proc. Intern. Conf., at CERN 610, 1962. Results on peripheral pion-nucleon interactions at 12 and 17 GeV/c. Physics Letters 2, 253, 1962. Production of ρ^0 mesons at 12 and 17 GeV/c.
26. N.H. Xuong and G.R. Lynch. Nuovo Cim., 25, 923, 1962. Search for a four-pion resonance and some decay modes of the ρ^- and ω^- mesons. Phys. Rev., 128, 1849, 1962. Search for multipion resonances in the reaction $\bar{p} + p \rightarrow 3\pi^+ + 3\pi^- + \pi\pi^0$.
27. D.D. Carmony and R.T. Van de Walle. Phys. Rev., 127, 959, 1962. Determination of $\pi^- \pi^-$ Cross sections by the Chew-Low Extrapolation Method.
28. E. Pickup, D.K. Robinson and E.O. Salant. Phys. Rev. Lett., 9, 170, 1962. Departures from one-pion exchange in 1,25-BeV $\pi^- - p$ interaction.
29. L.B. Auerbach, T. Elioff, W.B. Johnson, J. Lach, C.E. Wiegand and T. Ypsilantis. Phys. Rev. Lett., 9, 173, 1962. Study of pion-pion interaction from pion production by pions.
30. J. Naiss. Physics Letters 1, 247, 1962. Experiment and the ρ^- meson.
31. В.А. Беляков, Ван Юн-чан, Н.М. Вирясов, Ду Юань-цай, Ким Хи Ин, Е.Н.Клодницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, Е.С. Соколова, М.И.Соловьев. ЖЭТФ, 44, 1474, 1963. Изучение свойств ρ^0 -мезонов, рождающихся со странными частицами в $\pi^- p$ и $\pi^- C$ - взаимодействиях.
32. V. Hagopian and W. Selove. Phys. Rev. Lett., 10, 533, 1953. Experimental evidence on $\pi^- \pi^-$ scattering near the ρ^- and f^0 resonances, from $\pi^- + p \rightarrow \pi + \pi +$ nucleon, at 3 BeV/c.
33. Alliti et. al. Nuovo Cim., 29, 515, 1963. $\pi^- + p$. Interactions at 1, 59 GeV/c.
34. S.D. Drell. Proc. Intern. Conf. at CERN., p. 27, 1958. "Nucleon structure". Theoretical II.
35. Hofstadter, Bumiller, Yerian. Rev. Mod. Phys., 30, 482, 1958. Electromagnetic structure of the proton and neutron. Перевод в сборнике "Электромагнитная структура ядер и нуклонов".
36. W.R. Frazer and J.R. Fulco. Phys. Rev. Lett., 2, 365, 1959. Effect of a pion-pion scattering resonance on nucleon structure. Phys. Rev., 117, 1609, 1960. Effect of a pion-pion scattering resonance on nucleon structure - II.
37. F.J. Bowcock, D. Lurie. Nuovo Cim., 16, 918, 1960. Effect of a pion-pion scattering resonance on low energy pion-nucleon scattering. Nuovo Cim., 19, 142, 1961. The effect of a pion-pion interaction on low-energy meson-nucleon scattering - II.
38. C.F. Chew, F.E. Low. Phys. Rev., 113, 1640, 1959. Unstable particles as targets in scattering experiments.
39. F. Selleri. Physics Lett., 3, 76, 1962. Off-shell pion-pion scattering in the $T = J = 1$ state.
40. Ferrari and F. Selleri. Phys. Rev. Lett., 7, 387, 1961. Pionic form factor effects in peripheral nucleon-nucleon collisions.
41. В.В. Серебряков, Д.В. Шарков. Препринт ИМ. С.О. АН СССР. ТФ-5, 1962. Естественное объяснение узкого пион-пионного резонанса.

1. B.C. Maglic, L.W. Alvarez, A.H. Rosenfeld and M.L. Stevenson, Phys. Rev. Lett., 7, 178, 1961. Evidence for a $T = 0$ three-pion resonance.
2. N.H. Xuong and G.R. Lynch, Phys. Rev. Lett., 7, 327, 1961. Evidence confirming the $T = 0$ three-pion resonance.
3. A. Pevsner, R. Kramer, M. Nussbaum, C. Richardson, P. Schlein, R. Strand, T. Toohig, M. Block, A. Engler, R. Gessaroli and C. Meltzer. Phys. Rev. Lett., 7, 421, 1961. Evidence for a three-pion resonance near 550 MeV.
4. M.L. Stevenson, L.W. Alvarez, B.C. Maglic and A.H. Rosenfeld, Phys. Rev., 125, 687, 1962. Spin and parity of the ω -meson.
5. N.H. Xuong and G.R. Lynch. Nuovo Cim., 25 923, 1962. Search for a four-pion resonance, and some decay modes of the ρ and ω mesons.
6. W.D. Walker, E. West, A.R. Erwin and R.H. March, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 42, 1962. ω and ρ production.
7. D.D. Carmony, F. Grand, R.T. Van de Walle and N.H. Xuong, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 44, 1962. Multipion production by 2.03 GeV/c in hydrogen.
8. C. Alff, D. Colley, N. Gelfand, U. Nauenberg, D. Riller, J. Steinberger, T.H. Tau, H. Brugger, P. Kramer and R. Plano, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 50, 1962. Preliminary results on the production and decay properties of the ω , η and ρ mesons and other resonances in π^+ proton collisions at 2.35, 2.6' and 2.9 GeV/c. Phys. Rev. Lett., 9, 322, 1962. Production of pion resonances in π^+p interactions Phys. Rev. Lett., 9, 325, 1962. Decays of the ω and η mesons.
9. G.B. Chadwick et al. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 73, 1962. Production and decay of the ρ and ω mesons in antiproton annihilation.
10. T. Ferbel, J. Sandweiss, H.D. Taft, M. Gaillard, T. Morris, R.M. Lea and T.E. Kalogeropoulos. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 76, 1962. Elastic scattering and multipion annihilations of 3.25 GeV/c antiprotons in hydrogen.
11. R. Armenteros et al. Proc. Intern. Conf., at CERN, p. 90, 1962. Study of the ω -meson in annihilations $\bar{p} + p \rightarrow K + \bar{K} + \omega^0$.
12. T. Toohig, R. Kraemer, L. Madansky, M. Meer, M. Nussbaum, A. Pevsner, C. Richardson, R. Strand and M. Block, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 99, 1962. An analysis of the production of η and ω mesons by the interactions of pions with deuterium.
13. M. Meer, R. Strand, R. Kraemer, L. Madansky, M. Nussbaum, A. Pevsner, C. Richardson, T. Toohig, M. Block, S. Orenstein and T. Fields. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 103, 1962. The decays of the η - and the ω -mesons.
14. J. Button-Shafer, M. Ferro-Luzzi, J. Marray, M.L. Stevenson, and F.T. Solmitz, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 307, 1962. $\Lambda \pi^+ \pi^- \pi^0$ and Λ^+ neutral final states in $K^- - p$ interactions at K^- momenta of 1.22 and 1.51 GeV/c.

15. N.H. Xuong and G.R. Lynch, Phys. Rev., 128, 1849, 1962. Search for multi-pion resonances in the reaction $\bar{p} + p \rightarrow 3\pi^+ + 3\pi^- + \pi^0$.
16. W.J. Fickinger, D.K. Robinson and E.O. Salant, Phys. Rev. Lett., 10, 457, 1963. Evidence for two-pion decay mode of the ω -meson.
17. В.А. Беляков, Ван Юн-чан, И.М. Вирясов, Ду Юань-цай, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Певев, Е.С. Соколова, М.И. Соловьев, ЖЭТФ, 44, 1474, 1963. Изучение свойств π^0 -мезонов, рождающихся со странными частицами в π^-p и π^-C взаимодействиях.
18. J.B. Shafer, J.J. Murray, D.O. Huwe, F. Solmitz and M.L. Stevenson, Bull. Am. Phys. Soc., 8, 22, 1963. Rare decay modes of the ω^0 -meson.
19. В.В. Бармин, А.Г. Долголенко, Ю.С. Крестников, А.Г. Мешковский Ю.П. Никитин, В.А. Шебанов. Препринт ИТЭФ, № 161, 1963. Обнаружение распада $\omega \rightarrow \pi^0 + \gamma$. ЖЭТФ 45, 1879, 1963 г.
20. J. Bernstein, G. Feinberg, Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 170, 1962. A Needle in a Haystack.
21. Y. Nambu, Phys. Rev., 106, 1366, 1957. Possible Existence of a Heavy Neutral Meson.
22. Г.И. Копылов и В.И. Огневский. Препринт ОИЯИ Р-1181, Дубна, 1962. Запрещенные конфигурации мезонов в многомезонных распадах.
23. S. Glashow, Phys. Rev. Lett., 7, 469, 1961. Is isotopic spin a good quantum number for new isobars?
24. N. Gelfand, D. Miller, M. Nussbaum, J. Ratau, J. Schultz, J. Steinberger, T.H. Tan, L. Kirsch, R. Plano, Phys. Rev. Lett, 11, 436, 1963. Lifetime of the ω -meson.

5. ϕ - мезон

1. L. Bertanza, V. Brisson, P.L. Connolly, E.L. Hart, I.S. Mitra, G.C. Moneti, R.R. Rau, N.P. Samios, I.O. Skillicorn, S.S. Yamamoto, M. Goldberg, L. Gray, J. Leitner, S. Lichtman and J. Westgard, Phys. Rev. Lett, 9, 180, 1962. Possible resonances in the $\bar{K} + \pi$ and $K + K$.
2. P. Schlein, W.E. Slater, L.T. Smith, D.H. Stork and H.K. Ticho, Phys. Rev. Lett., 10, 368, 1963. Quantum numbers of a 1020 MeV $K K$ resonance.
3. P.L. Connely, E.L. Hart, K.W. Lai, G. London, G.C. Moneti, R.R. Rau, N.P. Samios, I.O. Skillicorn, S.S. Yamamoto, M. Goldberg, M. Gundzik, J. Leitner and S. Lichtman, Phys. Rev. Lett., 10, 371, 1963. Existence and properties of the ϕ -meson.
4. J.J. Sakurai, Ann. Phys. 11, 1, 1960. Theory of strong Interactions.
5. M. Gell-Mann, Phys. Rev., 125, 1067, 1962. Symmetries of Baryons and Mesons.
6. M. Goldhaber, T. Lee, C. Yang, Phys. Rev., 112, 1796, 1958. Decay modes of a $(\theta + \theta)$ system.

7. В.И. Огиевецкий, Э.О. Оконов, М. И. Подгорецкий. ЖЭТФ, 43, 720, 1962. Замечания о свойствах пар K -мезонов.
8. S.B. Treiman. Phys. Rev., 128, 1342, 1962. Adair spin analysis with parity nonconservation.
9. J.J. Sakurai. Phys. Rev. Lett., 9, 472, 1962. Possible existence of a $T = 0$ Vector Meson at 1020 Mev.
10. N. Gelfand, D. Miller, M. Nussbaum, J. Ratauj, J. Schultz, J. Steinberger, T. H. Tan, L. Kirsch, R. Plano. Phys. Rev. Lett., 11, 438, 1963. Width of the ϕ meson. 1962.

8. f^0 - мезон

1. Я.Я. Шаламов, А.Ф. Грашин. ЖЭТФ, 43, 21, 1962. Данные о $\pi\pi$ -взаимодействии из реакции рождения π -мезонов в $\pi\pi$ соударениях. Рождение ρ^0 -мезонов.
2. Z.G.T. Guiragossian, W.H. Powell, H.S. White. Bull. Am. Phys. Soc., 7, 281, 162. Evidence for new π - π Resonances.
3. W. Selove, V. Hagopian, H. Brody, A. Baker and E. Leboy. Phys. Rev. Lett., 9, 272, 1962. Evidence for a $T = 0 (\pi^+ - \pi^-)$ resonance at 1250 MeV.
4. J.J. Veillet, J. Hennessy, H. Bingham, M. Bloch, D. Drijard, A. Lagarrigue, P. Mittner, A. Rousset, G. Bellini, M. di Corato, E. Fiorini and P. Negri. Phys. Rev. Lett., 10, 29, 1963. Existence and spin of the proposed $f^0(\pi^+ - \pi^-)$ resonance.
5. N.H. Xuong, R. Lander and P. Yager. Bull. Am. Phys. Soc. Ser. II, v. 8, 342, 1963. Production of multipion resonances by π^+ at 3,43 BeV/c in hydrogen.
6. L. Bondar et al. Physics Lett., 5, 153, 1963. Further evidence for the f^0 -meson, and a determination of its spin.
7. V. Hagopian and W. Selove. Phys. Rev. Lett., 10, 533, 1963. Experimental evidence on $(\pi^+ \pi^-)$ -scattering near ρ and f^0 resonances from $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi +$ nucleon, at 3 BeV/c.
8. Z.G.T. Guiragossian. Phys. Rev. Lett., 11, 85, 1962. Study of Pion-Pion Resonances in 3,3 BeV $\pi^- - p$ interaction.
9. G.F. Chew and S.C. Frautschi. Phys. Rev. Lett., 8, 41, 1962. Regge trajectories and principle of maximum strength for strong interactions.
10. R.K. Adair. Phys. Rev., 100, 1540, 1955. Angular distribution of Λ^0 and θ^0 decays.
11. A. Pignotti. Phys. Rev. Lett., 10, 416, 1963. Does the f^0 particle lie on the Pomeranchuk trajectory?
12. A. Ahmadzadeh and I.A. Sakmar. Phys. Lett., 5, 145, 1963. An approximation method for Regge trajectories and its implication on the spin - 2 particle of the Chew-Frautschi diagram.

1. Barloutand, J. Heughebaert, A. Levegue, J. Meger and R. Onnes. Phys. Rev. Lett., 8, 32, 1962. Evidence for a $T = 1$ pion-pion resonance of 575 MeV.
2. B.S. Zorn. Phys. Rev. Lett., 8, 282, 1962. Pion-pion resonances in a pure $T = 1$ state.
3. V.P. Kenney, W.D. Shephard and C.D. Gall. Phys. Rev. 126, 736, 1962. Single Neutral Pion Production by Pions of 1100 MeV.
4. C.C. Peck, L.W. Jones and M.L. Perl. Phys. Rev., 126, 1836, 1962. Evidence concerning pion-pion interactions below the 765 MeV pion-pion resonance.
5. C. Richardson, R. Kraemer, M. Meer, M. Nussbaum, A. Pevsner, C. Richardson, R. Strand and M. Block. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 96, 1962. Two pion resonances below mass 900 MeV.
6. G.B. Chadwick, W.T. Davies, M. Derrick, C.J.B. Hawkins, P.B. Jones, J.H. Mulvey, D. Radojicic, C.A. Wilkinson, M. Cresti, A. Grigoletto, S. Limentani, A. Limentani, A. Loria, L. Peruzzo and R. Santangelo. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 73, 1962. Production and decay of the ρ - and ω -mesons in antiproton annihilation.
7. H. Foelsche, E.C. Fowler, H.L. Kraybill, J.R. Sanford and D. Stonehill. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 36, 1962. $\pi^+ + p$ interaction near 1 GeV.
8. C. Alff, D. Colley, N. Gelfand, U. Nauenberg, D. Riller, J. Steinberger, and R. Plano. Proc. Intern. Conf. at CERN, p. 50, 1962. Preliminary results on the production and decay properties of the mesons and other resonances in π -proton collisions at 2.35, 2.6 and 2.9 GeV/c. Phys. Rev. Lett., 9, 322, 1962. Production of pion resonances in $\pi^+ p$ interactions.
9. D.H. Stonehill and H.L. Kraybill. Rev. Mod. Physics, 34, 503, 1962. Pion-pion interactions in $\pi^+ p$ collisions.
10. F. Turkot, G.B. Collins, T. Fujii, M.A.R. Kemp, J. Menes, J. Oostens, R.A. Carrigan, R.M. Edelman, N.C. Hien. Bull. of the Amer. Phys. Soc. Ser. II, 7, 620, 1962. Search for $T = 1$ pion resonances in deuteron production.
11. Barloutaud, J. Heughebaert, A. Leveque, C. Louedec, J. Meyer and D. Tycho. Nuovo Cim., 27, 238, 1963. Single-pion production in Collisions at 820 and 1050 MeV.
12. M. Olsson and G.B. Yodh. Phys. Rev. Lett., 10, 353, 1963. Isobar model analysis of single pion production in pion-nuclear collisions below 1 BeV.
13. R.M. Sternheimer and S.J. Lindenbaum. Phys. Rev., 109, 1723, 1958. Pion production in pion-nucleon collisions.
14. S. Bergia, F. Bonsignori and A. Stanghellini. Nuovo Cim., 16, 1073, 1960. Pion production and the "Isobaric" model.

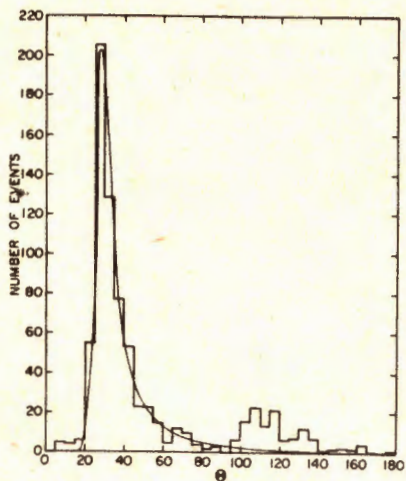


Рис. 1. Распределение углов между двумя γ -квантами после вычитания фона. Плавная линия соответствует теоретическому расчету для π^0 -мезона с учетом разрешения прибора.

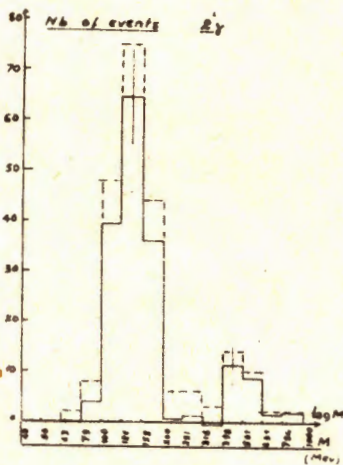


Рис. 2. Спектр эффективных масс двух γ -квантов: пунктир - без вычитания фона; сплошная линия - спектр после вычитания фона.

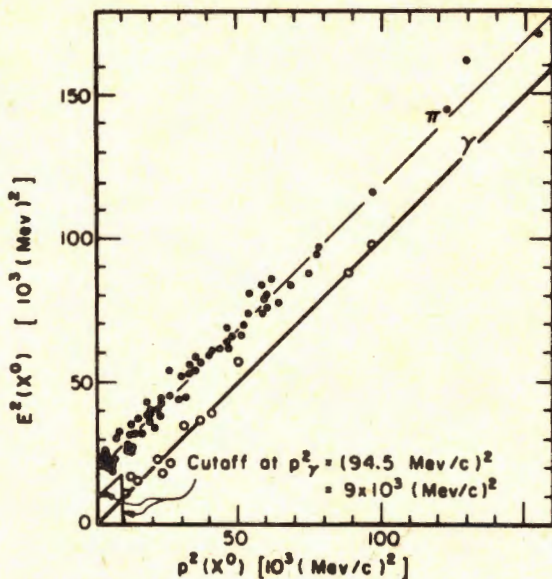


Рис. 3. Зависимость $E^2(X^0)$ от $p^2(X^0)$. Светлые точки - события, соответствующие распаду $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$. Темные точки - события, соответствующие распаду $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$.

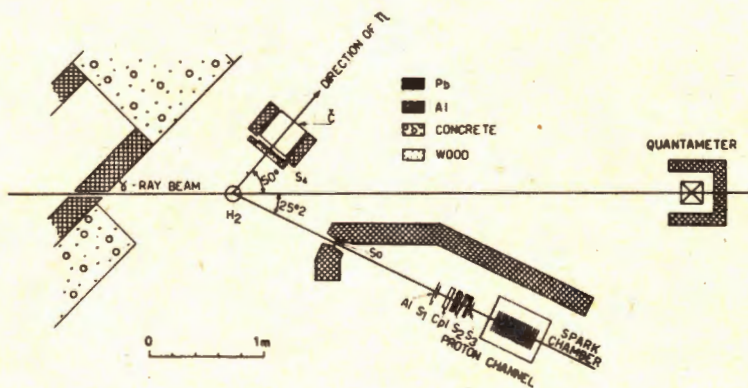


Рис. 4. Экспериментальная установка для регистрации фоторождения и нейтральных мод распада η -частиц.

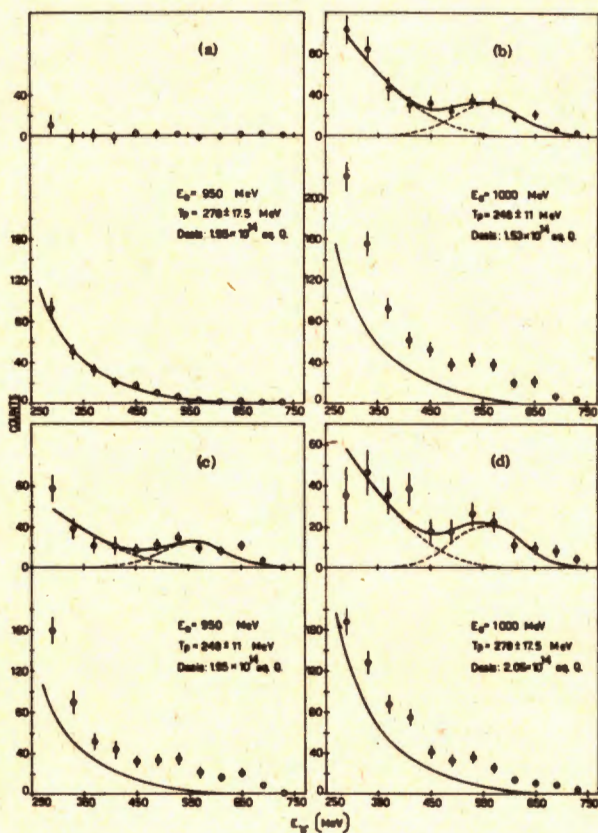


Рис. 5. Спектры γ - квантов от распада X^0 , образованной в реакции $u + p \rightarrow p + X^0$. /a/ - ниже порога образования η - частицы. /в/, /с/, /d/ - выше порога. Сплошная линия в нижней части каждой фигуры - вклад от процессов множественного рождения мезонов. В верхней части показана разность между экспериментальными точками и сплошной линией.

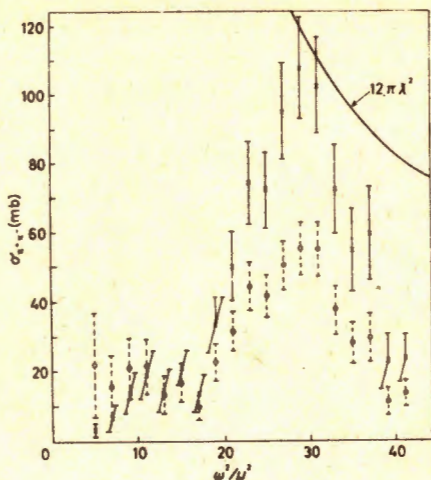


Рис. 6. Сечение $\pi^- + \pi^+ \rightarrow \pi^- + \pi^+$ в зависимости от $M_{\pi\pi}^2$. Сплошная линия соответствует сечению для резонансного рассеяния в состоянии $J = 1$. \circ - формула Чу и Лоу, \times - формула Селлари.

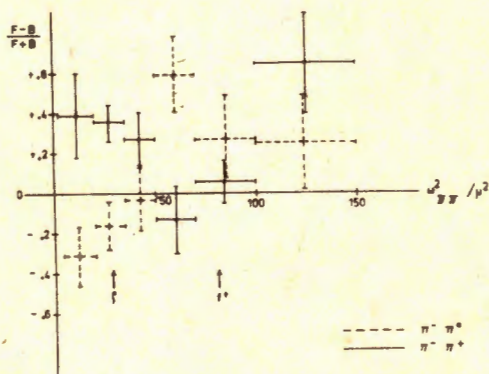


Рис. 7. Зависимость коэффициента асимметрии углового распределения π^- -мезонов в системе центра масс ($\pi^- \pi_0$) и ($\pi^- \pi^+$) относительно направления первичного π^- -мезона от квадрата полной энергии системы.

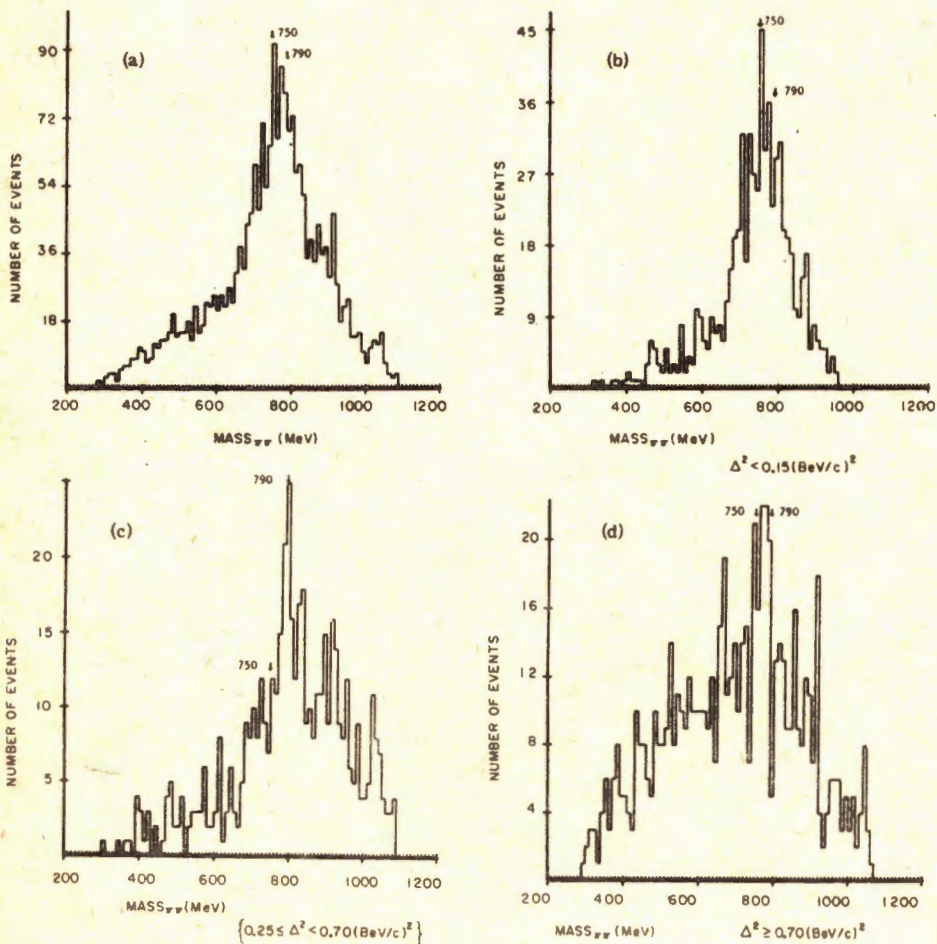


Рис. 8. Распределение эффективных масс $\pi^+ \pi^-$ системы. Стрелки указывают положение ρ / 750 Мэв/ и ω / 790 Мэв/. /a/ Все Δ^2 , /в/ $\Delta^2 < 0,15$ /Гэв/с/2, /с/ $0,25 \leq \Delta^2 < 0,70$ /Гэв/с/2, /д/ $\Delta^2 \geq 0,70$ /Гэв/с/2.

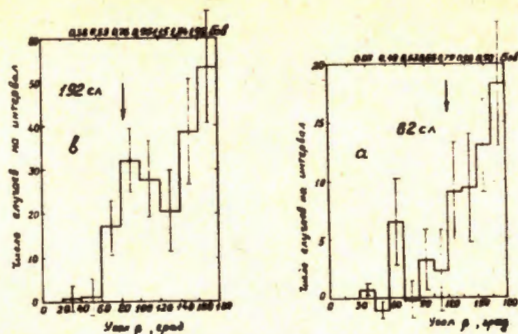


Рис. 9. Гистограмма событий, соответствующих реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi + 3u$ после вычитания фона. а - 1,55 ГэВ/с, в - 2,8 ГэВ/с.

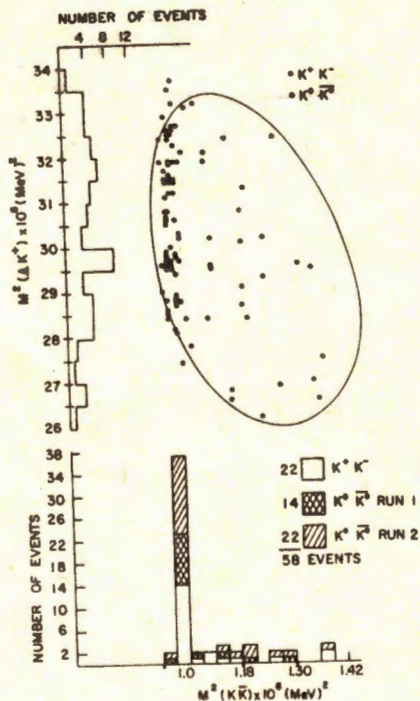


Рис. 10. Распределения событий, соответствующих реакции $K^- + p \rightarrow \Lambda + K + \bar{K}$ на графике Далица. Импульс K^- -мезонов 1.95 ГэВ/с.

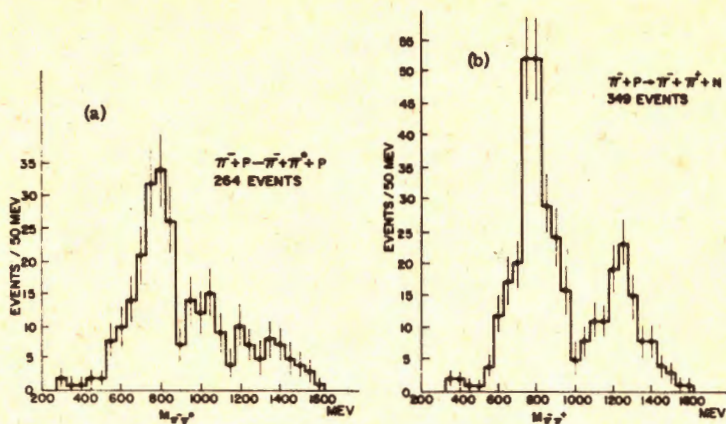


Рис. 11. /а/ Распределение масс $\pi^- \pi^0$,
/б/ Распределение масс $\pi^+ \pi^-$.

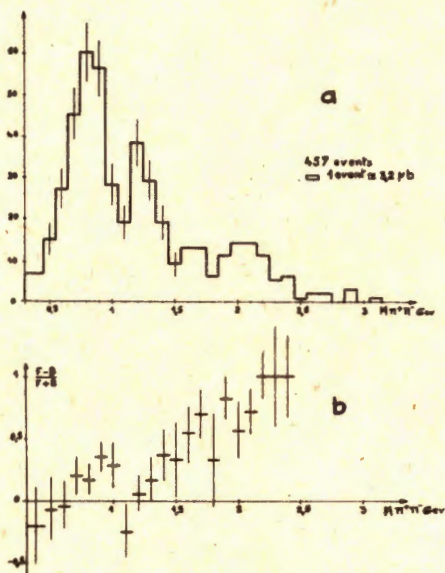


Рис. 12. /а/ Распределение масс $\pi^- \pi^+$ от реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n$
/б/ Асимметрия углового распределения π^- в с.п.и. ($\pi^+ \pi^-$) относительно направления первичного π^- -мезона.

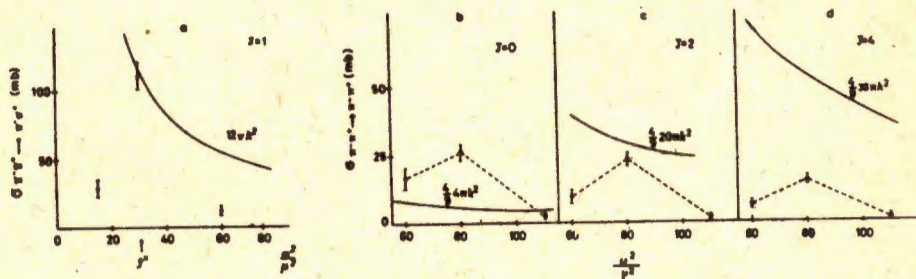


Рис. 13. Сечения $\pi^+\pi^-$ -рассеяния в реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$
 а/ в области ρ - резонанса,
 б/ в области f^0 -резонанса для спина 0,
 в/ в области f^0 - резонанса для спина 2,
 г/ в области f^0 - резонанса для спина 4.

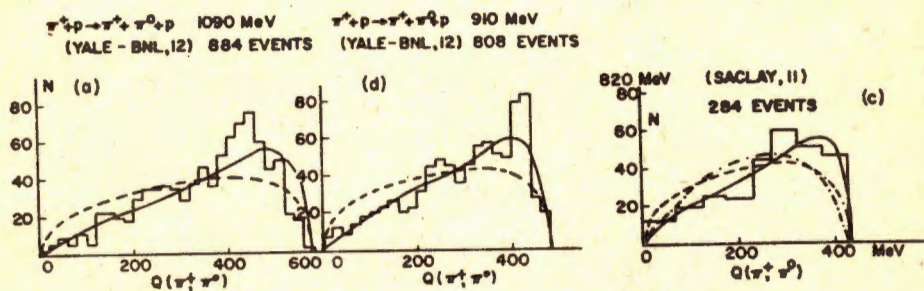


Рис. 14. Спектры Q -величин системы $\pi^+\pi^0$ от реакции $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^0 + p$
 Сплошная кривая рассчитана по изобарной модели Олсона и Иудка.
 Пунктир - изобарная модель Линденбаума и Штейнхеймера. Энергия
 первичных π^+ -мезонов: а/ 1090 Мэв, б/ 910 Мэв,
 в/ 820 Мэв.

Таблица I

Пионные резонансы

Обозначения		Электрич. заряд Q	Масса Мэв M	Ширина Мэв Γ	Изотоп спин I	Спин и четность J	Ч-чет- ность χ	Распад	
								Установлен- схемы распада	Соотно- шения ветвей%
Эта	η	0	548 ± 1	≤ 7	0	0^-	+	$\pi^+ \pi^- \pi^0$	~23
								$\pi^+ \pi^- \chi$	~6
rho	ρ^+	+1	750 ± 10	100 ± 10	1	1^-	+	$\pi^+ \pi^0$	~100
	ρ^0	0	750 ± 10	100 ± 10	1	1^-	+	$\pi^+ \pi^-$	~100
	ρ^-	-1	750 ± 10	100 ± 10	1	1^-	+	$\pi^- \pi^0$	~100
Омега	ω	0	783 ± 1	$9,5 \pm 2,1$	0	1^-	-	$\pi^+ \pi^- \pi^0$	~84
								$\pi^0 \chi$	~12
phi	φ	0	1019 ± 1	$3,1 \pm 1,0$	0	1^-	-	$\pi^+ \pi^-$	~4
								$K^+ K^-$	
эфи	f^0	0	1250 ± 25	100 ± 50	0	2^+	+	$K_1^+ K_2^-$	~35 ± 20
								$\rho^+ \pi^-$	
эф	f^0	0	1250 ± 25	100 ± 50	0	2^+	+	$K^+ K^-$	~35 ± 20
								$\rho^+ \pi^-$	
эф	f^0	0	1250 ± 25	100 ± 50	0	2^+	+	$\pi^+ \pi^-$	$\leq 8 \pm 6$
								$\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$	
эф	f^0	0	1250 ± 25	100 ± 50	0	2^+	+	$\pi^+ \pi^-$	$\leq 8 \pm 6$
								$\pi^+ \pi^-$	