

346.2 6/785
К-143

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



231

JOINT
INSTITUTE
FOR NUCLEAR
RESEARCH

Москва, Главпочтамт п/я 79

Head Post Office, P.O. Box 79, Moscow USSR

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
Дубна 5-15 августа 1984 г.

THE 1984 INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH ENERGY PHYSICS

Dubna, August 5-15.

ДОКЛАДЫ РАПОРТЕРОВ RAPORTEURS' REVIEWS

P-1785

НУКЛОН-НУКЛОННОЕ
И ПИОН-НУКЛОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ДО 1 ГЭВ

Раппортер Ю.М. Казаринов
Секретари: Н.С. Амаглобели,
И.М. Василевский,
Ю.П. Кумекин,
С.П. Соколов

В кн.: Мемор. конф. по
физике высоких энергий,
XII с. 10-92.

Дубна 1984

P-1785

2588/2 p. 1

НУКЛОН-НУКЛОННОЕ
И ПИОН-НУКЛОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ДО 1 ГЭВ

Раппортер Ю.М. Казаринов
Секретари: Н.С. Амаглобели,
И.М. Василевский,
Ю.П. Кумекин,
С.П. Соколов

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Настоящее издание имеет значение предварительной публикации.

В целях быстрого выхода в свет докладов они печатаются в том виде, как их представили раппортеры.

В настоящее время имеется достаточно обширная информация относительно процессов нуклон-нуклонного и пион-нуклонного столкновений.

При тех ограниченных возможностях, в смысле числа минут и количества страниц, которые предоставлены раппортеру, вряд ли целесообразно пытаться все вопросы в этой области рассматривать одинаково подробно. Можно долго спорить на тему о том, что в данном разделе следует считать проблемой номер один. Однако я думаю, что многие согласятся с тем, что вопрос однозначного определения амплитуд рассеяния является одним из наиболее интересных. В связи с этим вся совокупность экспериментальных данных, как известных по литературе, так и представленных на конференцию, будет рассматриваться в докладе прежде всего под этим углом зрения.

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НУКЛОНОВ С НУКЛОНАМИ

а) Упругое рассеяние.

Понятие полного опыта при рассеянии нуклонов нуклонами было сформулировано Пузиковым, Рындиным и Смородинским примерно десять лет тому назад⁽¹⁾. В самом общем виде они показали, что для однозначного восстановления амплитуды упругого рассеяния нуклонов нуклонами в области энергий ниже порога мезообразования необходимо провести измерение пяти величин, характеризующих процесс рассеяния. На первый взгляд может показаться, что практически для определения амплитуды рассеяния требуется заметно меньшая экспериментальная информация и, таким образом, предло-

женный полный опыт имеет чисто академический интерес. Однако это не совсем так. В самом деле, при проведении фазового анализа в каждом отдельном случае тем или иным способом удается оценить максимальный орбитальный момент ℓ_{max} , при котором на данной энергии еще осуществляется заметное взаимодействие, и свести задачу к определению ограниченного числа параметров $(5\ell_{max} + 2)$. Для составления $(5\ell_{max} + 2)$ независимых уравнений необходимо измерить три параметра, характеризующих процесс рассеяния (x) . Однако полученная система уравнений, как показано Клепиковым ⁽²⁾, имеет $2(5\ell_{max} + 2)$ решений, и для выбора истинного необходимо провести измерение еще одной величины. При этом в реальном случае это скорее всего окажется измерение четвертого неизвестного параметра.

Дальнейшее упрощение задачи восстановления амплитуды рассеяния по экспериментальным данным появляется при использовании некоторых теоретических представлений, либо предположений относительно энергетической зависимости амплитуды рассеяния.

В настоящее время наибольший успех в проведении полного опыта достигнут при изучении упругого pp-рассеяния при энергиях 52, 140-150, 210, 310 и 630-660 Мэв. Проведение полного опыта при исследовании пр-столкновений наталкивается на большие экспериментальные трудности, вследствие чего характеристики пр-рассеяния в рассматриваемой области энергий изучены заметно менее детально (Табл.1).

В промежутке между двумя конференциями был выполнен ряд интересных работ по исследованию упругого рассеяния нуклонов

x/ Более точно три полных эксперимента дают $(6\ell_{max} + 1)$ уравнений.

нуклонами. С помощью водородной пузырьковой камеры в широком интервале углов с хорошей точностью измерено сечение упругого пр-рассеяния при энергии 22,5 Мэв (Лос Аламос). Использование поляризованной водородной мишени позволило измерить $\sigma_{\text{ПП}}^{\text{PP}}/90^\circ$ при 20 Мэв (Сакле). Большие исследования процессов тройного рассеяния и спиновых корреляций проведены на энергиях 52 Мэв (Университет Киото, Лаборатория Резерфорда) и 140-150 Мэв (Харвард, Харуэли). Найден параметр тройного рассеяния А при энергии 660 Мэв (Дубна).

Перечень работ, представленных на эту конференцию (в порядке поступления к рапортеру) начинается работами, выполненными в Дубне при энергии нуклонов 630 Мэв, и заканчивается циклом исследований, выполненных на поляризованной мишени в Беркли в интервале энергий 0,3 - 6 Гэв (табл.2).

Таблица 1

Энергия Мэв	pp-рассеяние								pp-рассеяние					
	σ	P	D	R	A	A'	R'	$\sigma_{\text{ПП}}$	$\sigma_{\text{кр}}$	σ	P	D	R	A
23,1	x	x						x		x	x	x		
40	x	x								x	x			
52	x	x	x		x			x	x	x	x			
66	x	x								x	x			
96	x	x	x	x			x			x	x			
126	x	x								x	x			
140- 150	x	x	x	x	x		x			x	x		x	x
210	x	x	x	x	x		x			x	x	x		
310	x	x	x	x	x			x	+	x	x	x		
380-400	x	x						x	x	x	x			
430	x	x	+	+	+	+								
630-660	x	x	x	x	x			x	x	x	x	+	+	
970-1000	x	x								x /90°/				

Примечание: x - результаты, известные ранее. Подробная библиография приведена в монографии Вильсона. +- результаты работ, представленных на конференцию. Энергии сгруппированы в соответствии с работами по фазовому анализу.

Таблица 2.

Работы по рассеянию нуклонов нуклонами, представленные
 на конференции физиков на конференции.

Энергия: Мэв	Параметр	Угол	Где измерено:	Авторы	
605 x/	R _{pp}	90°	Дубна	Казаринов, Легар, Розанова, Писарев, Симонов.	
	R _{pn}	90°			
605	S _{pp}	90°	Дубна	Ю. Быстрицкий, Головин, Зулькор- неев, Медведь, Никаноров, Писарев	
	pp				
	С _{kn}				
635 x/	D _{pp}	112°	Дубна	Джелепов, Головин, Надеждин, Сатаров	
	D _{pp(св.)}	112°			
	D _{pp}	112°			
	R _{pp}	45, 7-145, 7°			
	R _{pp}	"			-"
	R _{pp}	34, 5-155, 7°			
310	R _{pp}	45°	Дубна	Казаринов, Легар, Петер, Писа- рев, Фильбрух	
	S _{pp}	45°			
430	R _{pp}	30-120°	Принстон Чикаго Колумб. унив.	Рос Райт, Клоппель, Хандлер Пондром	
	D _{pp}	"			
	R _{pp}	"			
	A _{pp}	"			
	A _{pp}	"			
	R _{pp}	"			
330- 6000	R _{pp}		Беркли	Ветц, Арнс, Дост, Пансрол, Холловой, Шулиц, Шапиро, Трона, Стейнер, Чемберлен, Дитерле, Греннис, Ван Россум, Вальдон	

x/ Получено в опытах с использованием дейтрона
 в качестве нейтронной мишени.

Таблица 3

Результаты измерений характеристик рассеяния при энергии
430 Мэв (Рос и пр.)

Θ, см.	D	R	A	A'	P
30	.34 ± .22	.06 ± .11	.	.47 ± .20	.33 ± .06
45	.60	.19 .40 .11	-.15	.12 .06 .11	.40 .06
60	.47	.13 .43 .08	.36	.09 .06 .09	.25 .04
75	.52	.11 .47 .07	.35	.08 .22 .08	.16 .03
90	.67	.10 .47 .05	.27	.07 .36 .07	
105	.65	.15 .35 .11	-.12	.16 .01 .11	-.23 .05
120	.59	.25 .34 .18	-.12	.22 .08 ± .22	-.40 .11

Характерной особенностью в постановке экспериментов по исследованию нуклон-нуклонного рассеяния в последние два года является широкое использование искровых камер, управляемых системой сцинтилляционных счетчиков. Поляризованная мишень использовалась в двух экспериментах в Сагге и Беркли. Однако применение этой новинки в технике эксперимента в ближайшем будущем должно бесспорно резко возрасти.

6/ Фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния.

Как уже говорилось, определение амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния в области энергий до порога мезообразования требует проведения трех-четырех экспериментов даже в том случае, когда мы решили ограничиться учетом взаимодействия только во вполне определенных по орбитальному моменту состояниях. Таким образом реальная возможность выполнения фазового анализа, если вспомнить таблицу известных экспериментальных данных, существует на трех-четырех энергиях в случае pp-рассеяния и не более, чем при одной /147 Мэв/, в случае np-рассеяния. Однако уже к прошлой конференции в Женеве /1962 г./ было показано, что с привлечением некоторых теоретических соображений, имевшиеся в то время экспериментальные данные позволили достаточно однозначно определить амплитуду нуклон-нуклонного рассеяния в интервале энергий от 95 до 300 Мэв ^{/3,4/}.

За период между двумя конференциями, наряду с работами по уточнению ранее найденных решений, выполнен ряд работ по фазовому анализу данных по рассеянию нуклонов нуклонами при фиксированной энергии, как в области энергий ниже 100 Мэв, так и при энергиях выше порога мезообразования. В настоящее время, таким образом, область энергий, в которой амплитуда рассеяния достаточно однозначно установлена, в сторону малых энергий расширена до 20 Мэв, т.е. почти до таких энергий, при которых наблюдается чистое S-рассеяние.

Выше порога мезообразования амплитуда рассеяния определена при трех энергиях 430, 630 и 970 Мэв. При этом для энергии 95, 147 и 210 Мэв амплитуда рассеяния определена однозначно, во всех других случаях /23, 40, 52, 126, 310, 630 и 970 Мэв/ положение несколько хуже - число решений колеблется от двух до трех. Однако, если предположить, что энергетические зависимости фазовых сдвигов монотонны, то во всех указанных случаях можно найти наиболее вероятное решение.

Принятая программа фазового анализа основывается на следующих предположениях:

1. Взаимодействие нуклонов в состояниях с высокими орбитальными моментами правильно описывается одномезонной диаграммой Фейнмана /5,6/.

2. Орбитальные моменты, начиная с которых применимо одномезонное приближение, можно оценивать либо по известной при данной энергии длине волны нуклона в системе центра масс и радиусу действия ядерных сил /комптоновская длина волны π -мезона/, либо руководствуясь тем, что в одномезонном приближении поляризация при рассеянии нуклонов нуклонами равна нулю /7/.

3. Существует зарядовая независимость ядерных сил.

4. Образование π -мезонов идет, в основном, в соответствии с резонансной моделью из начальных состояний с полным изотопическим спином $T = 1$ /8,9/.

Следует заметить, что первые три предположения достаточно убедительно подтверждаются во всей исследованной области энергий. Константа связи в тех случаях, когда ее берут в качестве свободного параметра, близка к величине, полученной из π -рассеяния. Оценка максимального значения орбитального момента, после которого можно пользоваться одномезонным приближением, сделанная на основании пункта 2, оказывается правильной.

Фазовые сдвиги $T = I$, полученные при совместном фазовом анализе, хорошо совпадают с результатами анализа одних рр-данных. Что касается последнего предположения относительно процессов мезообразования, то оно значительно менее обосновано, хотя на результатах анализа сказывается весьма сильно. Это обстоятельство, по-видимому, следует учитывать, рассматривая результаты фазового анализа при энергиях выше порога мезообразования.

Используя аппарат совместного фазового анализа при рр-данных в области относительно малых энергий, весьма важно правильно учесть кулон. Учет кулона в фазовом анализе при относительно высоких энергиях /начиная с энергии 40 Мэв и выше/ можно делать методом, использованным Стапфом, Ипсилантисом и Метрополисом в их первой работе по фазовому анализу при энергии 310 Мэв^{/10/}. Как показывают результаты интегрирования уравнения Фредингера, полученные в Дубне Силиным и Ом Сан Ха, поправка при учете кулона методом, использованным в работе^{/10/}, в наиболее тяжелых случаях не превышает двух ошибок в определении ядерной части фазового сдвига.

В области меньших энергий существующие методы учета кулона дают, по-видимому, заметно меньшую точность. Известно, что длины рассеяния в 1S_0 -состоянии, полученные при анализе результатов при рр-экспериментах, составляют $-23,68 \pm 0,03$ ^{/11/} и -17 ± 3 ^{/12/} ферми соответственно. Следует заметить, что величина -17 ферми находится также в заметном противоречии с результатами измерений Воитовецкого, Корсунского и Пашина /ИЭ им. И.В. Курчатова/. Эти авторы в своем эксперименте нашли, что длина рассеяния в системе двух нейтронов в 1S_0 -состоянии равна $-23,6 \pm 2,0$ ферми.

Таблица 4.

Наиболее вероятные значения фазовых сдвигов.

Энергия МэВ :	23,1	:	40	:	52	:	52	66 ^{x/} :	95
f^2	0,19 ± 0,5	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,04	0,6 ± 0,04	0,068 ± 0,012				
1S_0	52,71 ± 0,40	43,11 ± 0,73	35,52 ± 1,53	35,88 ± 2,11	24,14 ± 1,86				
3S_1	102,39 ± 5,81	61,80 ± 3,69	65,11 ± 4,08	55,58 ± 2,24	40,25 ± 2,67				
3P_0	2,18 ± 2,46	9,02 ± 1,76	16,43 ± 2,39	7,65 ± 9,23	10,76 ± 2,67				
1P_1	2,30 ± 1,06	-3,09 ± 1,09	-4,06 ± 4,49	-2,14 ± 4,48	-12,12 ± 8,40				
3P_1	-1,01 ± 1,47	-6,85 ± 0,44	-6,96 ± 0,53	10,68 ± 2,00	-12,37 ± 0,46				
3P_2	2,22 ± 0,16	4,76 ± 0,26	5,51 ± 0,63	8,30 ± 1,39	10,01 ± 0,46				
ϵ_1	4,30 ± 7,66	-1,54 ± 6,86	-2,44 ± 29,4	-14,40 ± 7,05	3,88 ± 5,93				
3D_1	4,82 ± 6,51	-5,10 ± 4,52	-2,82 ± 9,48	1,55 ± 4,55	-11,23 ± 2,35				
1D_2	0,76 ± 0,19	1,67 ± 0,10	2,46 ± 1,59	2,20 ± 0,96	3,57 ± 0,37				
3D_2	7,34 ± 3,94	8,65 ± 5,02	5,61 ± 12,5	4,43 ± 0,01	19,82 ± 2,42				
3D_3	0,21 ± 3,30	0,77 ± 1,92	3,74 ± 4,62	3,93 ± 1,59	1,78 ± 1,69				
ϵ_2					- 2,42 ± 0,50				
3F_2					-0,54 ± 0,54				
1F_3					0,12 ± 2,43				
3F_3					-1,07 ± 0,86				
3F_4					-0,19 ± 0,21				

x/ Набор получек уточнением интерполированных значений фазовых сдвигов.

На конференции представлены работы по фазовому анализу при нескольких фиксированных энергиях в интервале 20-630 Мэв, выполненные в Дубне /Казаринов, Киселев, Сатаров -табл.4,5/, фазовому анализу рр-рассеяния при энергии 970 Мэв, проведенные в Киото /Хама и Холизаки/ и новые уточненные рр- и пр-фазовые параметры, полученные в Иельском университете Брайтом, Кристаксисом, Хуллом и Симоном.

Метод, использованный Иельской группой для нахождения фазовых сдвигов δ , отличается от обычного метода фазового анализа, о котором до сих пор шла речь. Сделав предположение о виде энергетической зависимости фазовых сдвигов, авторы получают возможность обрабатывать данные, полученные при разных энергиях совместно, и таким образом находить фазовые сдвиги даже при тех энергиях, где экспериментальных данных явно недостаточно для проведения фазового анализа обычным методом.

За начальные приближения для фазовых сдвигов при данной энергии принимаются величины, найденные из разных потенциальных моделей. Заметным недостатком этого метода является отсутствие возможности исследовать, насколько однозначно полученное решение. В то же время при недостатке экспериментальной информации минимизируемый для нахождения фазовых сдвигов функционал имеет вид весьма сложной поверхности и вероятность попасть в ложный минимум по одному или нескольким параметрам достаточно велика.

Результаты, представленные Иельской группой, получены при обработке 780 точек для 97 энергий для рр и 762 точек при 85 энергиях для пр-рассеяния. Отношение $\chi^2/\bar{\chi}^2 = 2$. Полученные энергетические зависимости фазовых сдвигов представлены на рис. 1, 2. Данные фазового анализа при фиксированных энергиях

показаны для сравнения на этих же рисунках **ТОЧКАМИ**,

Наибольшее расхождение в найденных разными методами параметрах обнаруживается в значениях параметра смешивания ξ_1 . Правда, точность определения этого параметра в области энергий ниже 100 Мэв очень низка, но при энергиях 147 и 310 Мэв - расхождение заметное. Планирование эксперимента показывает, что для надежного определения параметра смешивания ξ_1 , в области энергий ниже 100 Мэв весьма полезны были бы эксперименты по измерению коэффициентов корреляции поляризаций или опыты с поляризованными пучками и поляризованными мишенями.

В заключение этого раздела доклада необходимо отметить следующее:

1. Решения, полученные ранее при фазовом анализе данных по нуклон-нуклонному рассеянию, достаточно устойчивы. Они, как правило, вполне удовлетворительно предсказывают результаты будущих экспериментов /Рис.3/ и после уточнения сдвигаются не более, чем на одну-две ошибки.

2. Фазовые сдвиги волн с изотопическим спином $T = 0$ и $T = 1$ по величине примерно одинаковы. Таким образом, взаимодействия в этих состояниях одинаково интенсивны.

3. Процессы мезообразования в состояниях с $T = 1$ идут в основном на 1D_2 и 3F состояний и в этом смысле носят периферический характер.

4. Константа связи Π -мезона с нуклоном близка к величине 0,07 веде, за исключением фазового анализа, проведенного при энергии 147 Мэв. Причина последнего отклонения не совсем ясна. Возможно, что частично это результат пренебрежений, сделанных при учете кулона и при использовании дейтрона в качестве нейтронной мишени.

В/Одинойной образование π -мезонов в нуклон-нуклонных
столкновениях.

Более или менее полная информация о процессах образования мезонов в рассматриваемой области энергий имеется в настоящее время только для случая неупругого рассеяния протонов протонами. Исследование неупругих np -столкновений выполнено много хуже.

На рис.4 показаны энергетические зависимости сечений образования π^0 и π^+ мезонов в pp -столкновении в интервале энергий до 1 Гэв. Угловые распределения π -мезонов, образующихся в pp -столкновениях вплоть до энергии 660 Мэв, вполне удовлетворительно описываются выражением $a + b \cos^2 \theta$. Таким образом образование π -мезонов происходит в основном в S и P состояниях. Наличие D -волны начинает сказываться, по-видимому, только с энергией больше 700 Мэв.

Немоноэнергетичность пучков нейтронов высоких энергий, три частицы в конечном состоянии большинства реакций образования π -мезонов сильно затрудняют изучение реакций. Вследствие этого большая половина сведений о процессах мезонообразования в np -столкновениях получена в опытах с использованием дейтрона в качестве "нейтронной" мишени. На рис.5 дана зависимость полного сечения образования π -мезонов в np -столкновениях. Угловые распределения образующихся π -мезонов до энергий 600 Мэв также не содержат членов более высоких, чем $\cos^2 \theta$.

Говоря о работах, представленных на конференцию, прежде всего хочется сказать о работе Гужавина, Клигера, Калганова, Лебедева, Марина, Мусина, Прокошкина, Смолянкина, Соколова, Сороко, Чуй Ва Чуана /Дубна/, изучавших с помощью жидководородной камеры образование π -мезонов в pp -столкновениях при энергии 650 Мэв. Полученные результаты указывают на то, что при этой энергии вклад в сечение реакции $pp \rightarrow p\pi p$ от резонансного $3/2 \ 3/2$ -взаимодействия составляет $1/72 \pm 3\%$. Таким образом вклад нерезонансных состояний при этой энергии достаточно велик. Измеренные угловые распределения π^+ и π^0

-мезонов устраняют некоторые разногласия, существовавшие ранее между экспериментальными данными и следствиями изотопической инвариантности.

Реакцию $p + p = \pi^+ + \pi^+$ при энергии 990 Мэв изучали Колли, Чапмен, Джонс, Кен, Мак Кин, Танимура, Ван дер Рей и Моррей /Бирмингем/ обратную ей в интервале моментов π^- -мезонов 0,65-1,95 Гэв/с исследовали Деккер, Мордан, Мермод, Тинг, Вебер, Виллитс, Винтер, де Бур и Виваргент /ЦЕРН, Сакле/. Полученные результаты в рассматриваемом интервале энергий находятся в согласии с ранее полученными /рис.5 /.

Рашбрун, Багг, Оксли, Цолл, Джобо, Кинон, Риддифорд и Таллини использовали нейтронный пучок от Бирмингемского протонного синхротрона в опытах по исследованию процессов образования π^- -мезонов в np -столкновениях с помощью водородной пузырьковой камеры /диаметр 9 дюймов/ в интервале энергий 290-970 Мэв. Полученные результаты показаны в таблице:

Таблица 8

<u>Реакция</u>	<u>Число наблюдавшихся случаев</u>
$p + p = p + p + \pi^-$	1721
$p + p = n + p + \pi^0; \pi^0 \rightarrow e^+e^- + \gamma$	54
$p + p = n + p + \pi^+ + \pi^-$	52
$p + p = p + p + \pi^- + \pi^0$	12/2 /

Полученные данные дают отношения $\sigma_{np\pi^0} / \sigma_{pp\pi^0} = 2,67 \pm 0,43$, если вероятность появления пар Далица принять равной 0,1196 /16/. Это отношение сечений указывает на весьма заметный вклад в сечение $pp\pi^-$ от начальных состояний np -системы с полным изотопическим спином $T = 0$. Канал $T = 0$ преобладает в процессах рождения двух π^- -мезонов. Эксперимент дает для $\sigma_{np\pi^+} / \sigma_{pp\pi^+}$ величину 0,08 $\cdot 10^{-27}$ см², величину значительно более высокую, чем $\sigma_{pp\pi^+}$.

Угловые распределения протонов от реакции $pp\pi^-$ и $pp\pi^0$ так же, как и отношения сечений, сравниваются с предсказаниями "периферической" модели Феррари и Селлери. Отношение сечений несколько отличается, по мнению авторов, от требуемой величины

$\sigma(pp\pi^0)/\sigma(pp\pi^-) = 2$. Угловые распределения согласуются вполне удовлетворительно.

Дальнейшая проверка периферической модели проводилась с помощью критерия Треймана-Янга ^{15/} угловые зависимости Треймана-Янга, однако, оказываются заметно неизотропными.

Анализ распределений углов вылета π^- -мезона в системе покоя предполагаемой изобары и направлений движения изобары в общей системе покоя, найденных на основании полученных данных, хорошо подтверждают предсказания изобарной модели.

Нейтронный пучок Бирмингемского протонного синхротрона был использован Доддом, Риддифордом и Уайткнером для исследования процессов образования π^- -мезонов в nd -столкновениях. Предполагая, что дейтрон может служить мишенью из "свободных" нуклонов, авторы нашли, что $\sigma_{np\pi^-} / \sigma_{pp\pi^-} = 3,15 \pm 0,26$. Эта величина заметно отличается от того, что предсказывает изобарная модель. Отклонение, по мнению авторов, результат действия принципа Паули, подавляющего реакцию $pp\pi^-$ в тех случаях, когда протон имеет относительно малую энергию.

В заключение этого раздела необходимо отметить следующее:

1. Видел "нерезонансных" состояний в сечении образования π^+ -мезонов в pp -столкновениях при энергиях от 600 Мэв достаточно велик и составляет примерно 30%. В соответствии с этим весьма заметен также вклад в сечение образования π^- -мезонов в pp -столкновениях от взаимодействия нуклонов в состояниях с изотопическим спином $T = 0$. Таким образом резонансная модель Манделштама оказывается не совсем правильной и требует некоторой корректировки. Это обстоя-

тельство, по-видимому, следует также учитывать при проведении фазового анализа данных по рассеянию нуклонов нуклонами в этой области энергий.

2. Периферическая модель Феррари и Селлери не всегда правильно предсказывает результаты эксперимента. Так, в частности, критерий Треймана-Янга /17/ при энергии 970 Мэв, по-видимому, не выполняется.

2. П-НУКЛОН ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.

а/ Упругое рассеяние П-мезонов нуклонами.

Амплитуда рассеяния П-мезонов нуклонами

$$M = a + b(\vec{\epsilon} \vec{n})$$

имеет два независимых комплексных параметра. Таким образом, в общем случае для определения ее при данной фиксированной энергии необходимо проведение четырех экспериментов. Проведения этих экспериментов становится возможным только при использовании поляризованной мишени /18/. В области до порога мезообразования число необходимых данных сокращается вдвое.

Если ограничиться рассмотрением взаимодействия только в определенных состояниях, число независимых уравнений, необходимое для определения $2l_{max} + 1$ параметров, входящих в амплитуду, в этом случае может быть найдено из измерений только одного дифференциального сечения. Однако в этом случае, также как и при анализе нуклон-нуклонных столкновений, эта система $2l_{max} + 1$ уравнений имеет $2/2l_{max} + 1/$ решения /2/, и для устранения неоднозначности необходимо измерение поляризации нуклонов отдачи, либо привлечение каких либо других сведений, например, энергетич-

ческой зависимости фазовых сдвигов.

Из общей сводки экспериментальных данных видно, что подавляющая масса экспериментов по изучению P_r -рассеяния посвящена измерению дифференциальных сечений рассеяния. Измерение поляризации нуклонов отдачи выполнено в значительно меньшем объеме. Параметры R и A до настоящего времени вообще не измерялись /рис. 7/.

Работы, представленные на конференции, приведены в таблице 7 и показаны на рис. 7 стрелками.

Таблица 7

Экспериментальные данные по $\beta\gamma$ -рассеянию, представленные на конференции

Энергия Мэв	Параметр	Авторы
300-700	$\sigma(\beta)$	D.E.Hagge, J.A.Helland, and P.M.Ogden (Lawrence Radiation Laboratory) M.Banner, J.F.Detoef, and J.Teiger (Saclay)
700-1400	$\sigma(\beta)$	P.J.Duke, D.P.Jones, M.A.Kemp, P.G.Murphy, J.D.Prentice and J.J.Thresher, (England)
300	$P(\beta)$	И.М.Василевский, В.В.Вишняков, И.М.Иванченко, А.А.Тяпкин /Дубна/.
523-1301	$P(\beta)$	R.D.Eandi, T.J.Devlin, R.W.Kenney, and P.G.McManigal (Lawrence Radiation Laboratory)
600-850	$\sigma_{ex}(\beta)$	A.Muller, E.Pauli, R.Barloutand, J.Meyer (Saclay, France) M.Beneventano, G.Ghalanella, L.Paoluzi (Roma, Italy)
500-1300	$\sigma_{ex}(\beta)$	C.B.Chiu, R.D.Eandi, R.W.Kenney, B.J.Moyer, J.A.Poirier, W.B.Richards (Lawrence Radiation Laboratory); R.J.Cence, V.Z.Peterson, V.J.Stenger, (University of Hawaii)
500-1150	$\sigma_{ex}(\beta)$	C.A.Bordner, A.E.Brenner, M.E.Law, E.E.Ronat, K.Strauch, J.J.Szymanski, (Harvard Univ. USA) P.Bastien, B.B.Brabson, Y.Eisenberg, B.T.Feld, V.K.Fischer, J.A.Pless, L.Rosenson and R.K.Yamamoto (MIT and Laboratory for Nuclear Science USA) F.Bulos, R.E.Lanou, A.E.Pifer, A.M.Shapiro, M.Widgoff, (Brown Univ. USA) R.Panvini (Brandeis Univ. USA) G.Calvelli, L.Guerriero, G.A.Salandin, A.Tomasin, L.Ventura, C.Voci and F.Waldner, (Padua Univ. Italy)

Дифференциальные сечения упругого P^+ рассеяния измерялись в интервале энергий 300-700 Мэв в Беркли и Сакле, в интервале 700-1400 Мэв в Чилтоне. Обменное рассеяние изучалось в интервале 500-1300 в Беркли и в интервале энергий 500-1150 Мэв на космотроне в Брукхевене большой Кембридж-Падуя группы И.

Измерение поляризации протонов отдачи выполнено при энергии 300 Мэв в Дубне и при 523, 572, 689, 684, 981 и 1300 Мэв в Беркли.

Результаты измерения дифференциальных сечений упругого и обменного рассеяния P -мезонов протонами позволили Беркли-Сакле-группе получить сечение упругого рассеяния в состоянии с полным изотопическим спином $T = 1/2$. Полученное сечение аппроксимируется рядом

$$\sigma = \sum_n a_n \cos^n \theta$$

и приводятся энергетические зависимости первых четырех коэффициентов. Характер угловых зависимостей коэффициентов указывает, по мнению авторов, на сильную $D_{15} F_{15}$ интерференцию вблизи 900 Мэв и позволяет сделать некоторые заключения о поведении парциальных амплитуд.

Результаты, полученные Кембридж-Падуя группой, при изучении обменного рассеяния также указывают на сильную $D_{15} F_{15}$ интерференцию вблизи 900 Мэв и подтверждают наличие двух максимумов в полном сечении $\sigma_{T=1/2}$. Кроме того, измеренные P^0 -распределения хорошо подтверждают значения амплитуды рассеяния вперед, найденные из дисперсионных соотношений на основании данных, ранее полученных в Сакле.

Результаты выполненных в Беркли измерений поляризации протонов отдачи показывают, что поляризация на угле 90° /с.д.м./ в P^+ -рассеянии в интервале 600-100 Мэв дважды меняет знак.

Она отрицательна при энергиях ниже 700 Мэв и положительна при энергии 700 Мэв и снова становится отрицательной и большой при энергиях выше 900 Мэв. Вир-рассеяния $P/90^\circ$ отрицательна ниже 700 Мэв и остается положительной при энергиях, более высоких, выше 700 Мэв.

Касаясь вопросов методики эксперимента в этой области, необходимо упомянуть, прежде всего, об использовании подризован-

ной мишени в экспериментах по измерению поляризации протонов в Pp -рассеянии в Беркли. Кроме того, по-видимому, много обещают эксперименты по измерению поляризации нейтронов отдачи в обменном Pp -рассеянии^{19/}. Этот метод дает возможность проникнуть в область малых углов значительно дальше и, возможно, легче, чем какой-либо другой.

б/ Фазовый анализ π -нуклона рассеяния.

Первый фазовый анализ π^+ -рассеяния был выполнен Андерсеном, Ферми, Мартином и Неглем в 1953г. Общее число работ по фазовому анализу π -рассеяния, выполненных с тех пор, заметно больше двадцати. Однако возможно, что в силу того, что в первых фазовых анализах использовались только данные о дифференциальных сечениях рассеяния, результаты анализа оказывались неоднозначны. И если судить по замечаниям проф. Сегре на прошлой конференции в Женеве, проблема фазового анализа π -рассеяния в 1952г. была значительно более запутанной, чем проблема фазового анализа нуклон-нуклонного рассеяния. С тех пор, однако, появились новые данные о поляризации частиц отдачи в π -нуклон-столкновениях и это позволило заметно сократить неопределенность в фазовом анализе.

На конференцию представлены три работы по фазовому анализу. В первой из них Василевским, Вишняковым и Иванченко /Дубна/ был проведен фазовый анализ рассеяния π -мезонов на водороде с использованием полученных в Дубне новых экспериментальных данных о поляризации протонов отдачи в упругом π -рассеянии при энергии 300 мэв, с привлечением ранее известных данных о π -рассеянии при этой энергии.

Поиск наборов фазовых сдвигов при $l_{max} = 2$ /SPD-анализ/ со случайных начальных значений для волн с изотопическим спином $T=1/2$ проводился с использованием только части вышеуказанного материала. Фазовые сдвиги $T=3/2$ при этом принимались равными значениям, полученным Чемберленом и др. /20/, и считались постоянными. Примесь неупругих столкновений пренебрегали. Было найдено три набора фазовых сдвигов, аналогичных полученным Виком и Рутге /21/. Далее фазовые наборы уточнялись при $l_{max} = 2-3$ по полному экспериментальному материалу.

При этом было получено, что результаты анализа с $l_{max} = 2$ не удовлетворяют χ^2 -критерию и таким образом показана необходимость

учета взаимодействия в F-состоянии при энергии 300 МэВ. При дальнейших испытаниях найденных решений было показано, что одно из них /решение 2. / может быть отброшено, как решение, не удовлетворяющее поляризации нейтронов, измеренной в реакции обменного П-р-рассеяния /19/ / $\Delta\chi^2 = 14$ /. Первое решение и близкий к нему набор, полученный в /21/, даны в таблице. Следует отметить, что это решение, в отличие от остальных двух, весьма устойчиво к изменению числа параметров.

Таблица.

Наиболее вероятные фазовые сдвиги в Пр-рассеянии при энергии 310 МэВ

	: Вик и Ругге	: Василевский, Вишняков, Иванченко
S 3,1	- 21,2	- 18,8 ± 1,1
P 3,1	- 12,1	- 4,6 ± 1,8
P 3,3	137,2	133,5 ± 0,6
D 3,3	- 3,3	2,2 ± 1,3
D 3,5	1,5	- 4,2 ± 1,0
F 3,5	- 1,8	0,4 ± 0,4
F 3,7	3,3	- 0,2 ± 0,7
S 1,1	10,9	17,0 ± 1,2
P 1,1	23,1	19,2 ± 0,9
P 1,3	- 3,5	- 2,4 ± 0,6
D 1,3	6,5	5,0 ± 0,6
D 1,5	0,6	3,5 ± 0,8
F 1,5	2,1	1,1 ± 0,2
F 1,7	- 1,2	1,0 ± 0,4
χ^2	52	48
$\bar{\chi}^2$	34,2	57

Следующие две работы по фазовому анализу Γp -рассеяния выполнены Сенсом в Гавайском университете и Ропером в Радиационной лаборатории Лоуренса. Работы выполнены в широком интервале энергий до 700 Мэв несколькими разными способами.

Ропер предположил, что энергетическая зависимость фазовых сдвигов может быть представлена в виде ряда по степеням импульса в системе Ц.М.

$$\delta = \sum_n a_n k^n$$

и после этого получил возможность обрабатывать данные при разных энергиях одновременно. Следует заметить, что этот метод весьма похож на метод, использованный ранее Йельской группой при обработке данных по нуклон-нуклонному рассеянию.

При анализе с $\nu_{max} = 4$ Ропер получает $\chi^2 = 2400$ при 1200 обработанных точках. Согласие нельзя считать хорошим, но следует учитывать, что при выбранном методе анализа число варьируемых параметров всегда меньше, чем при фазовом анализе при фиксированной энергии, и потому описание по χ^2 -критерию всегда будет хуже.

Найденная Ропером зависимость фазовых сдвигов от энергии показана на рис. 8 и 9. Точками для оравнения нанесены фазовые сдвиги, полученные при анализе данных для фиксированных энергий. Согласие можно считать удовлетворительным вплоть до энергий 300 Мэв. Найденный Ропером набор фазовых сдвигов содержит три резонанса P_{33} , P_{11} и D_{13} при энергиях 198, 570 и 650 Мэв, соответственно. При этом P_{11} и D_{13} при указанных энергиях имеют заметные коэффициенты поглощения.

Фазовый анализ Сенса выполнен при нескольких фиксированных энергиях. Поиск решений начинался при энергии 310 Мэв с набора 2 Вика и Ругге и при переходе к более высоким энергиям за начальное приближение для фазовых сдвигов принимался результат, полученный на предыдущей энергии. Следует заметить, что такой метод поиска

решений при недостатке экспериментальных данных вряд ли следует считать наиболее целесообразным. Попав в ложный минимум при одной из энергий, мы вряд ли в дальнейшем сможем вернуться к правильному решению.

Результаты Сенса при энергии 600 Мэв по фазовым сдвигам $T = 3/2$ находятся в качественном согласии с результатами Ропера.

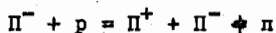
На заседании, посвященном теоретическим вопросам нуклон-нуклон и P -нуклон взаимодействия, были **должны** результаты фазового анализа P -данных Лавлеса и др., проведенного в интервале 310-700 Мэв на одиннадцати фиксированных энергиях. При этом при 310, 533, 581, 698 Мэв поиск велся достаточно тщательно, при других энергиях находилось только решение, которое наилучшим образом соответствовало интерполированным значениям фазовых сдвигов. Результаты значительно лучше описывают экспериментальные данные / $\chi^2/\bar{\chi}^2 = 584/558$ / и согласуются с кривыми Ропера, в лучшем случае, только до энергии 600 Мэв. Фазовый сдвиг P_{11} при этом на энергии 600 Мэв достигает примерно 110° и затем с ростом энергии резко уменьшается /рис.10-11/.

Итак, в настоящее время достаточно однозначное определение амплитуды P -рассеяния проведено в области энергий до 300 Мэв. В интервале 300-600 все выводы относительно поведения фазовых сдвигов приходится делать заметно более осторожно. Здесь бесспорно некоторое предпочтение следует отдавать результатам Лавлеса и др., однако при этом нужно помнить, что при недостатке экспериментальных данных вероятность попасть в ложный минимум велика.

з) Одиночное образование П-мезонов в Пр-столкновениях
при энергиях ниже 1 Гэв

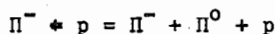
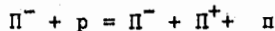
В материалах конференции имеются всего две работы, которые относятся к этому разделу.

Батусов, Бунятов, Сидоров и Ярба (Дубна) изучали реакцию



при помощи фотозумльсионной камеры. В работе была определена зависимость полного сечения реакции от энергии в интервале энергий первичных П-мезонов 200-300 Мэв, угловые распределения вторичных частиц и спектры эффективных масс $(\pi^-\pi^+)$ и $(\pi^+\pi^-)$ систем. Анализируя результаты, авторы приходят к выводу о том, что объяснить полученные данные без учета взаимодействия частиц в конечном состоянии невозможно. Учет взаимодействия в конечном состоянии делается методом Ансельма-Грибова^{/22/}, который при определенных предположениях позволяет связать наблюдаемое на опыте распределение частиц по относительным импульсам с разностью длин ПП-рассеяния в состояниях с изотопическим спином $T = 0$ и $T = 2$. Авторы получают для этой разности величину $a_0 - a_2 = 0,25 \pm 0,05$. Таким образом результаты авторов указывают на наличие заметного ПП-взаимодействия вблизи порога изучаемой реакции.

Блохинцева, Гребинник, Жуков, Кравцов, Либман, Неменов, Селиванов, Кань Жун-фан (Дубна) в жидководородной пузырьковой камере исследовали реакции:



при энергии 344. Сечения реакций найдены равными:

$$\sigma_{\pi^-\pi^+} = (1,5 \pm 0,1), \sigma_{\pi^-\pi^0 p} = (0,23^{+0,04}_{-0,07}) \text{ мб}$$

В работе предлагается процедура количественной оценки вклада изобары ($3/2, 3/2$) в сечение неупругого Π -нуклон-взаимодействия.

Анализ полученных экспериментальных данных методом, предложенным авторами, позволяет им сделать заключение о том, что при энергии 344 Мэв описать исследуемые реакции изобарной моделью, учитывающей только переход $D_{3/2} \rightarrow {}^sP_{1/2}$ в состоянии $T=1/2$, невозможно. Вклад изобарных каналов в полное сечение $\sum_{\Pi^-\Pi^+}$ не превышает половины, что также свидетельствует о заметной роли $\Pi\Pi$ -взаимодействия.

Данные по полным сечениям реакций мезообразования в Π -столкновениях представлены на рис.12 и 13. Результаты, представленные на конференцию, отмечены стрелками. Они находятся в хорошем согласии с известными данными других авторов. Сплошными кривыми показаны на рисунках функции возбуждения реакций образования Π -мезонов в Π -столкновениях, рассчитанные по изобарной модели Иодха-Олсона^{/23/}. Модель предполагает образование изобары $N(33)^-$ в S -состоянии и распада в P -состоянии. При этом оказывается, что мезообразование идет из начальных состояний D_{33} , D_{13} и P_{13} , P_{33} . Модель находится в качественном согласии с результатами фазового анализа, выполненного Ропером вполне удовлетворительно описывает зависимость полных сечений в интервале энергий от порога до 700 Мэв. Дифференциальные сечения описываются плохо, но это, по-видимому, можно объяснить интерференционными эффектами.

Таким образом ясно, что при описании процессов мезообразования в Π -столкновениях необходимо учитывать взаимодействие

частиц в конечном состоянии. Однако количественная оценка роли ПШ и П-нуклон взаимодействий при этом пока затруднительна.

В заключение доклада мне хотелось бы поблагодарить всех авторов, приславших материалы, использованные при составлении доклада. Я особо признателен профессору Иодху за присылку интересных материалов по модели Олсона-Иодха. Выражаю глубокую признательность ученым секретарям докторам Н.С.Амаглобели, И.М.Василевскому, Ю.П.Кумекину и С.Н.Соколову за помощь, оказанную мне при составлении доклада.

Литература

1. Л.И.Пузиков, Р.М.Рындин, Я.А.Сморodinский, ЖЭТФ 32, 592, 1957.
2. Н.П.Клепиков. ЖЭТФ 44, 376, 1963. Материалы конференции.
3. Yu.M.Kazarinov, I.N.Silin Proc.Intern. Conf. on High Energy Physics p.25, 1962.
4. L.Lapidus Proc.Intern. Conf. on High Energy Physics p.725, 1962
5. Л.В.Окунь, И.Я.Померанчук. ЖЭТФ 36, 300, 1959.
6. P.Cziffra, M.I.Moravcsik, H.P.Stapp. Phys. Rev. 114, 880, 1959.
7. Д.М.Казаринов, В.С.Киселев, И.Н.Силин, С.Н.Соколов. ЖЭТФ 41, 197, 1961.
8. N.Hoshizaki, S.Machida. Progr. Theor. Phys. 29, 49, 1963.
9. R.Zul'karneev, I.N. Silin. Phys. Left 3, 265, 1963.
10. H.P.Stapp. T.J.Ypsilantis, N.Metropolis Phys. Rev. 105, 302, 1957.
11. R.Walson. Nucleon-Nucleon Interaction Int. Publ. 1963.
12. Г.Бете, Ф.Моррисон. Элементарная теория ядра. И.Д.Москва, 1958.
13. G.Breit, M.H.Hull, I.L.E.Lassile, K.D.Pyatt, Phys.Rev. 120, 2227, 1960.
14. С.Н.Соколов. Препринт ОИЯИ Д-573, Дубна, 1963.
15. R.J.Cence, D.L.Lind, G.D.Mead, B.T.Mayer. Phys.Rev. 131, 2713, 1963.
16. D.W.Josef. Nuove Cim. 16, 997, 1960.
17. S.B.Treiman, C.N.Yang, Phys. Rev. Let. 8, 140, 1962.
18. R.E.Hill, N.E.Booth, R.J.Esterling, D.J.Djenkins, N.H.Lipman, H.R.Rugge, O.T.Vik, Bull, Am. Phys. Soc. 9, 410, 1964.
19. Y.S.Kim Phys. Rev. 129, 862, 1963.
С.М.Бкленский, Л.И.Липидус, Р.М.Рындин. Препринт ОИЯИ Р-1634, Дубна, 1964.
20. E.Rogers et al. Rev. Mod. Phys. 33, 356, 1961.
21. O.T.Vik. H.R.Rugge Phys. Rev. 129, 2311, 1963.
22. А.А.Ансельм, В.Н.Грибов. ЖЭТФ 37, 501, 1959.
23. M.Olsson, G.Iodh, Phys. Rev. Left 10, 353, 1963.
M.Olsson. T.R.-379, Maryland Univ., 1964.

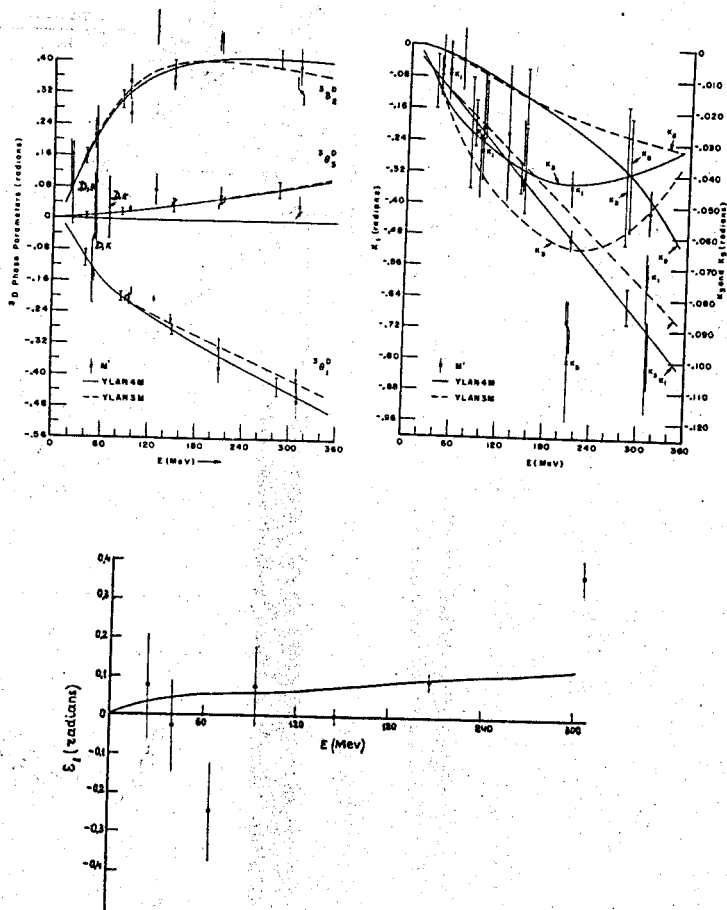


Рис. 2. Энергетические зависимости фазовых сдвигов в нуклон-нуклонном рассеянии. Сплошные кривые - результаты Мельской группы, \bullet - результаты работы, выполненной в Луоно.

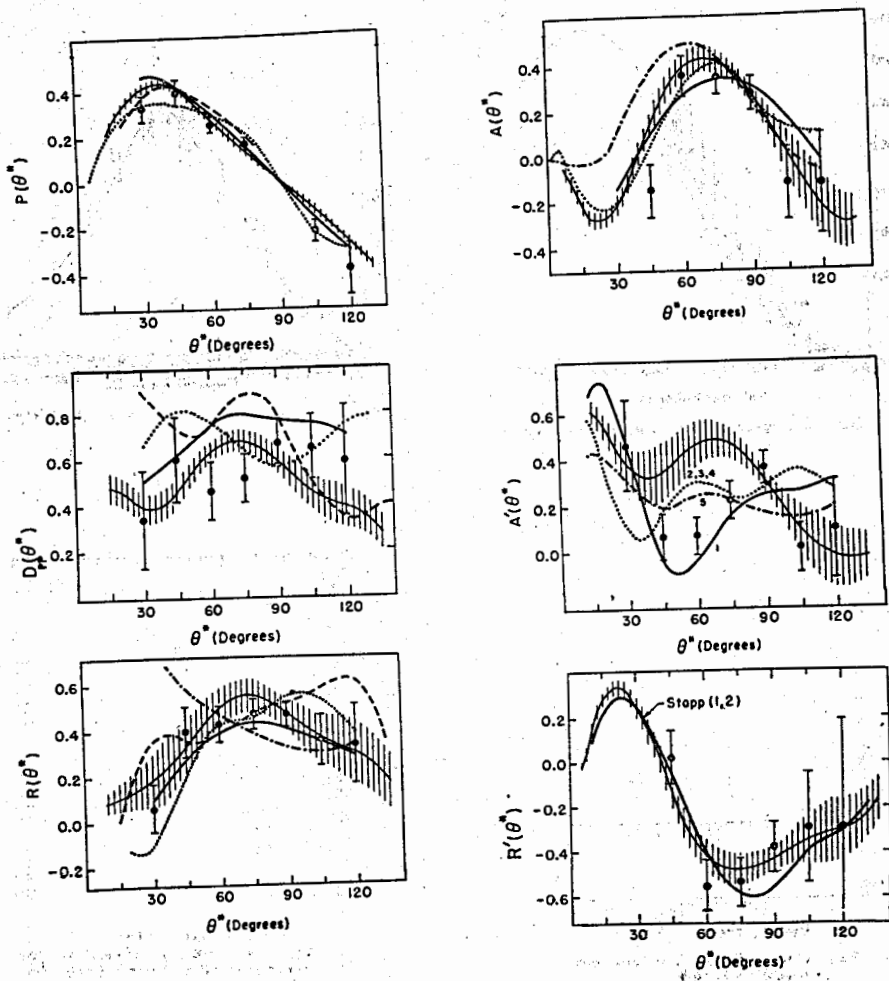


Рис.3-4. Сравнение результатов измерений параметров pp -рассеяния при энергии 430 МэВ с предсказаниями фазового анализа, проведенного ранее Амгиреем /Лубна/.

- Скотт и Вонг. 430 МэВ
- Хама и Хошизаки 660 МэВ
- Стэпп и др. /2, 3, 4/ 400 МэВ
- - - Стэпп и др. /1/ 400 МэВ
- |||| Амгирей /ЖЭТФ 45, 1988, 1963/ 400 МэВ

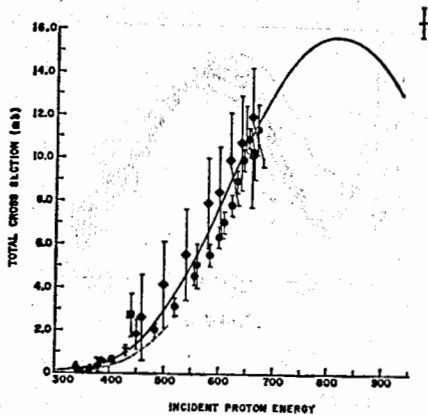


FIG. Total cross section for the reaction $p+p \rightarrow \pi^+ + p + n$

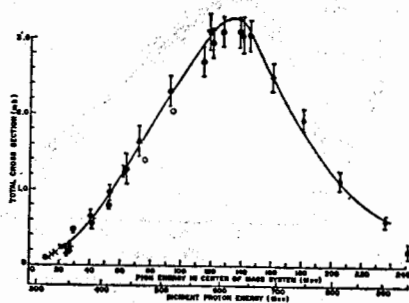


FIG. Total cross section for the reaction $p+p \rightarrow \pi^+ + d$.

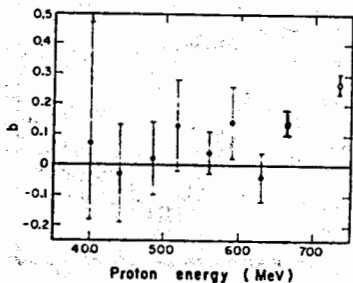


FIG. Values of the coefficient b in the expansion $d\sigma_{\pi}/d\Omega = \frac{1}{2} + b \cos^2\theta$.

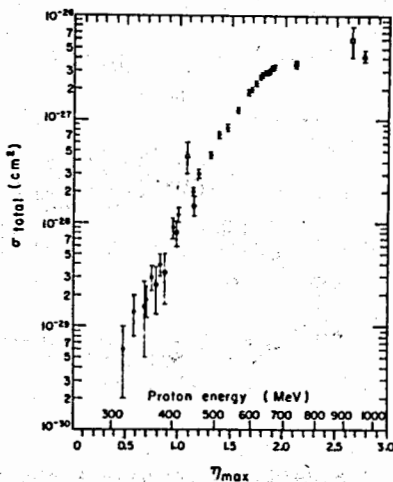


FIG. Total cross section for the reaction $p+p \rightarrow p+p+\pi^0$.

Рис.5 Энергетические зависимости сечений образования π -мезонов в pp -столкновениях. Энергетическая зависимость коэффициента b при $\cos^2\theta$ в угловом распределении π -мезонов.

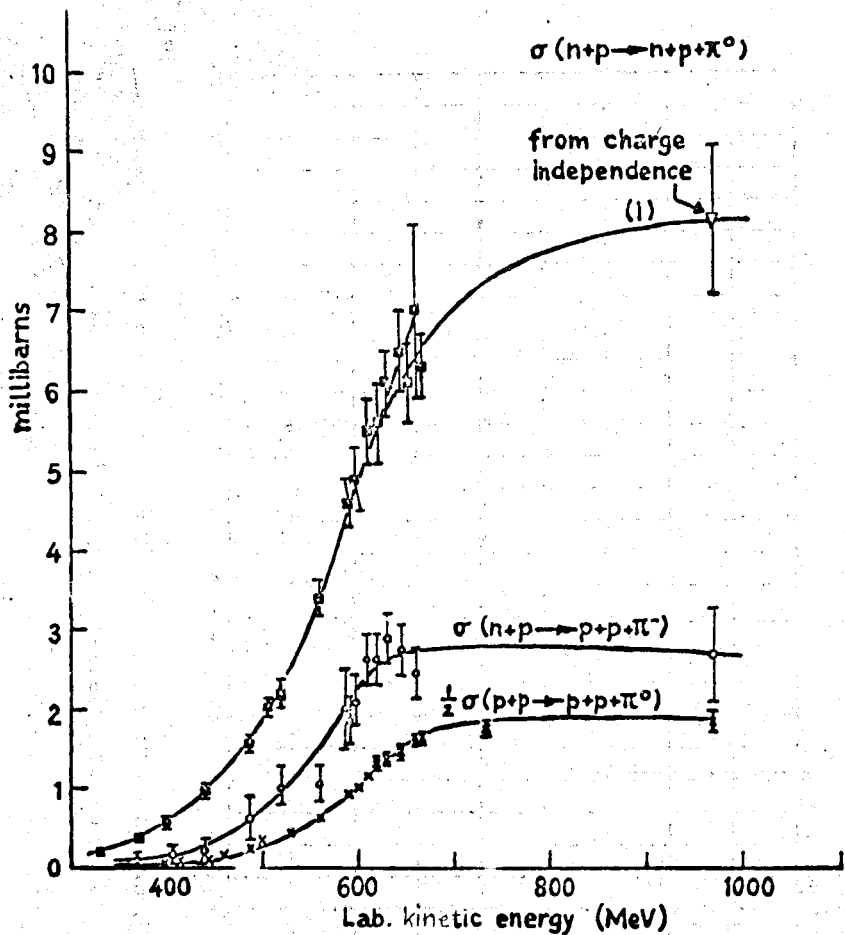


Рис.6 Энергетические зависимости сечения образования π -мезонов в np -столкновениях. Зависимость σ_{π^-} в интервале до 650 Мэв получена из следствий изотопической инвариантности.

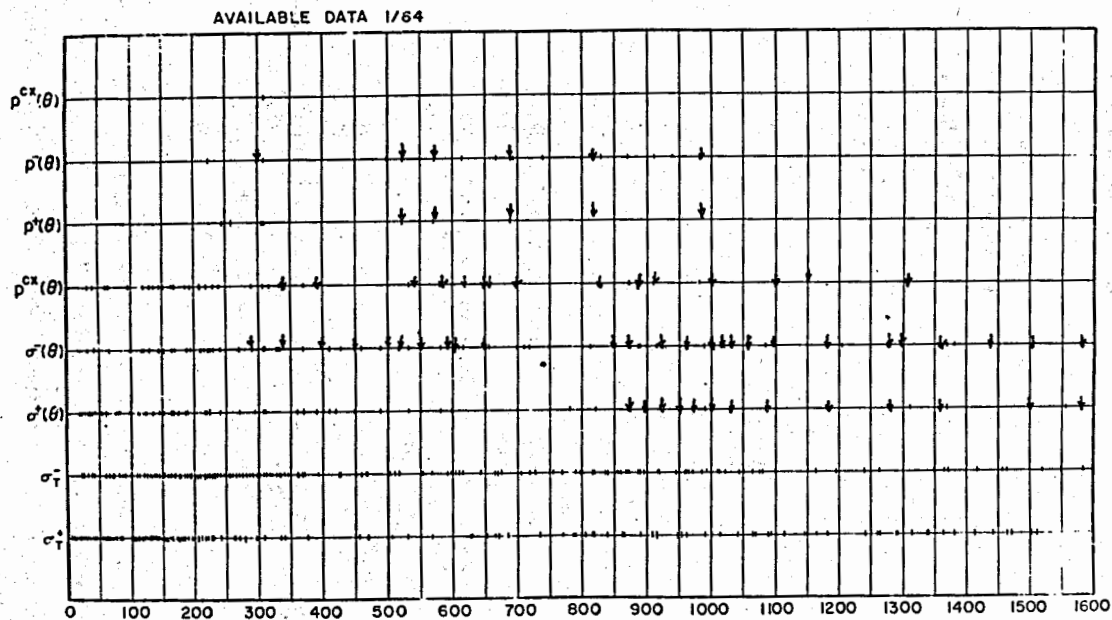


Рис. 7. Сводна экспериментальных данных по $\mathcal{T}\pi$ -рассеянию. Стрелками показаны данные, представленные на конференции.

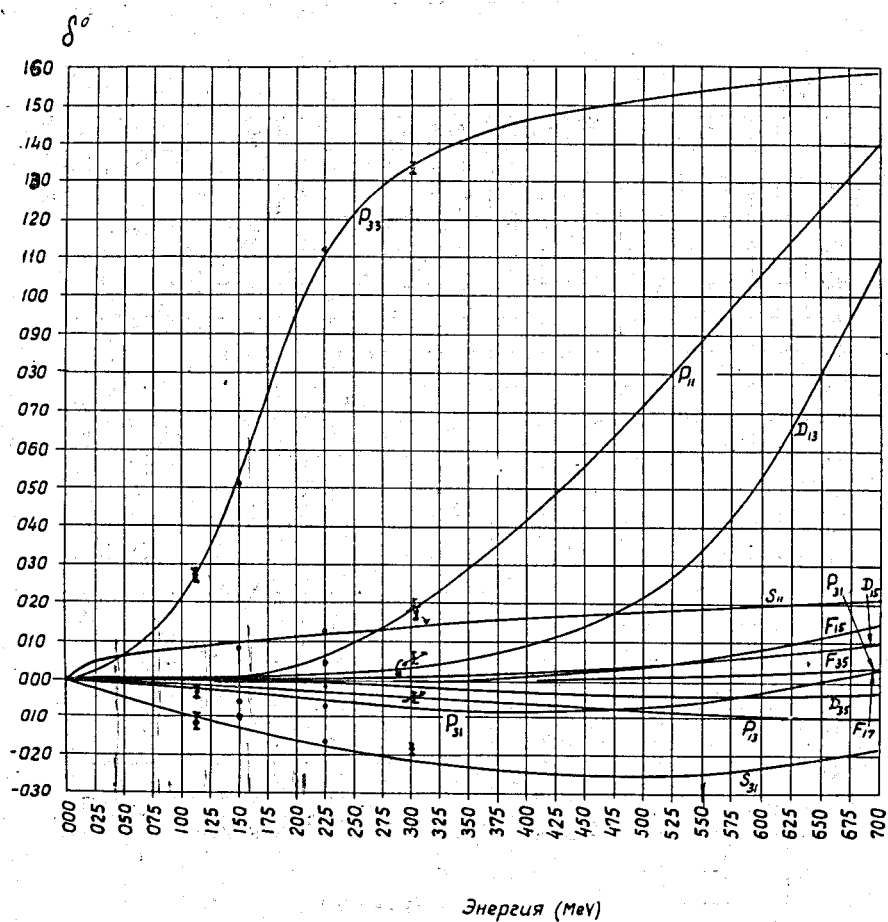


Рис.8. Результаты фазового анализа Ропера. Точками показаны результаты некоторых фазовых анализов, выполненных при фиксированных энергиях.

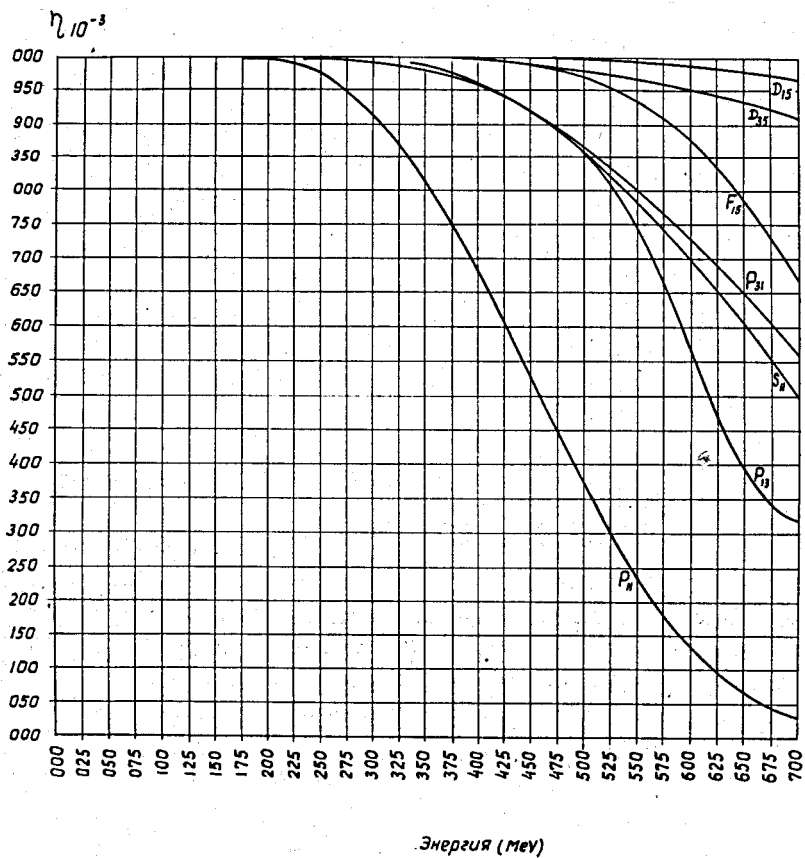


Рис.9. Результаты фазового анализа Ропера. Коэффициенты поглощения.

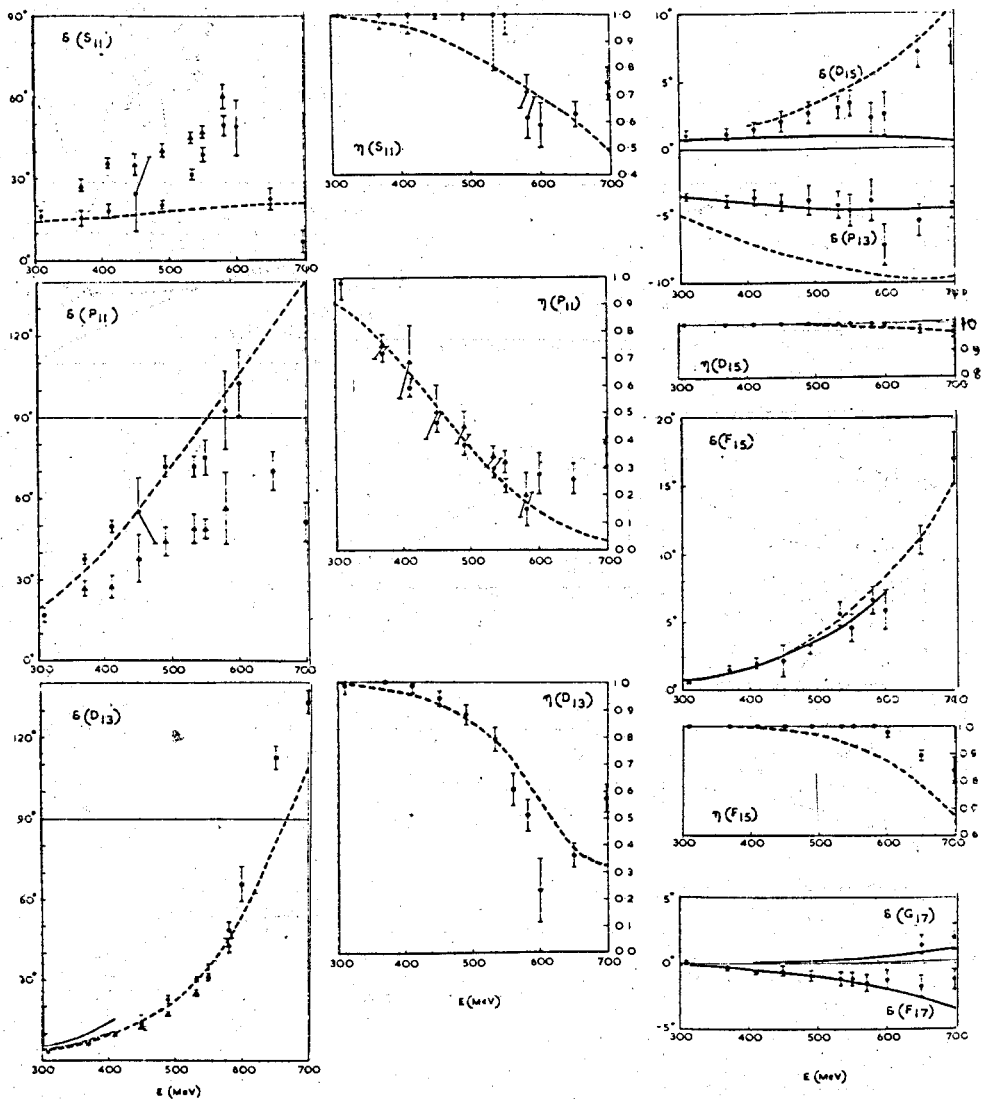
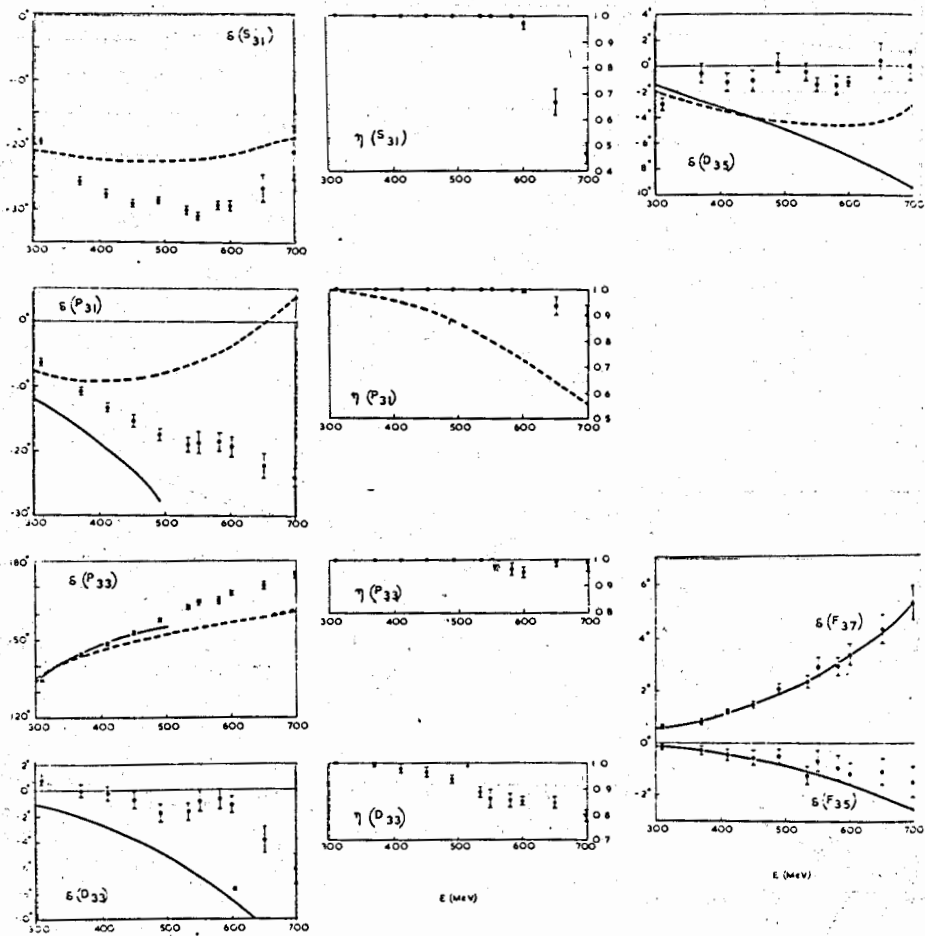


Рис. 10. Результаты фазового анализа Лавлеса, и др. и сравнение их с результатами Ропера.



E (MeV)

E (MeV)

Рис.11. Результаты фазового анализа Лавлеса и др. и сравнение их с результатами Ропера.

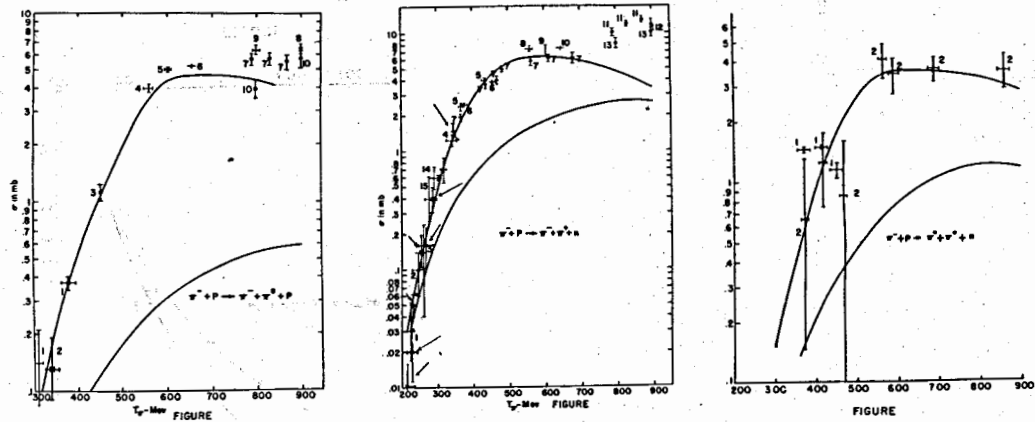
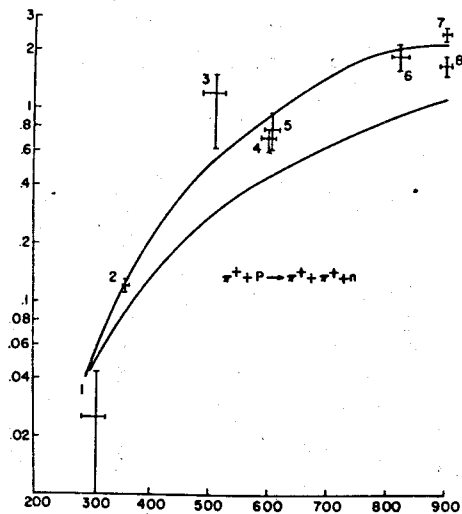
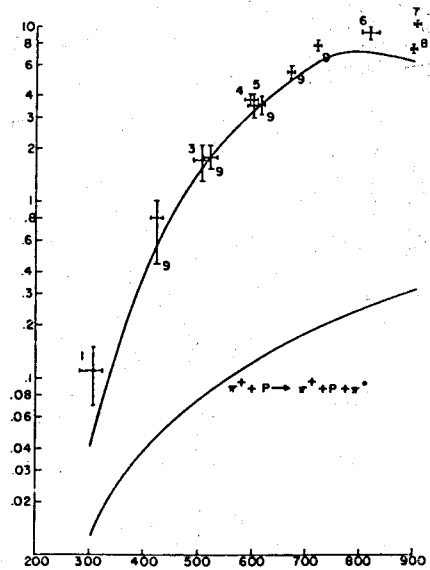


Рис.12. Энергетические зависимости сечений образования π -мезонов в Пр-столкновениях /23/. Стрелками показаны результаты работ, представленных на конференцию.



FIGURE



FIGURE

Рис. 13. Энергетические зависимости сечений образования π -мезонов в P -столкновениях /23/