

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЗ46 ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

0-355

1 - 5672

Б.М. Овчинников

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $p + p \rightarrow \pi^+ + n + p$
ПРИ ЭНЕРГИИ 650 МЭВ С ПОМОЩЬЮ
АКУСТИЧЕСКОЙ ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ,
РАБОТАЮЩЕЙ НА ЛИНИИ С ЭВМ

Специальность 040 - экспериментальная
физика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1971

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и в Ордена Ленина физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе АН СССР.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук Р.Я. Зулькарнеев.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Ю.М. Казаринов,
кандидат физико-математических наук А.А. Панов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Автореферат разослан " " 1971 года
Защита диссертации состоится " " 1971 года
на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А. Багусов

1 - 5672

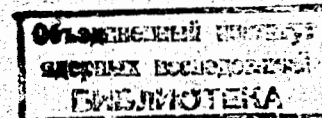
Б.М. Овчинников

7624 EP

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $p + p \rightarrow \pi^+ + p + p$
ПРИ ЭНЕРГИИ 650 МЭВ С ПОМОЩЬЮ
АКУСТИЧЕСКОЙ ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ,
РАБОТАЮЩЕЙ НА ЛИНИИ С ЭВМ

Специальность 040 - экспериментальная
физика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук



ВВЕДЕНИЕ

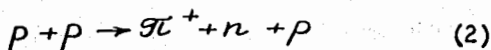
Исследование свойств NN -взаимодействий являлось и продолжает оставаться в настоящее время важной и обширной частью физики адронов. Изучение этих свойств в области энергий до 1 Гэв проводится, в основном, двумя путями. С одной стороны, в соответствии с идеями, выдвинутыми Л.Д.Пузиковым, Р.М.Рындиным, Я.А.Смородиным /1/, реализуется большая программа экспериментов по упругому рассеянию нуклонов. С другой стороны, изучение NN -взаимодействий ведется путем исследования элементарных актов мезообразования по схемам:

$$N + N \rightarrow \pi + N + N \quad (Ia)$$

$$N + N \rightarrow \pi + d. \quad (Ib)$$

Эти исследования несут информацию, необходимую для восстановления соответствующих феноменологических амплитуд процессов неупругого взаимодействия нуклонов, или, по крайней мере, для построения моделей таких взаимодействий. Как можно видеть из работ Л.М.Сороко /2,3/, Р.М.Рындина и Я.А.Смородинского /4/ и др. /5+7/, оба отмеченных выше подхода к изучению NN -соударений взаимосвязаны, дополняют друг друга и необходимы при полном восстановлении картины взаимодействия двух нуклонов в рассматриваемой области энергий.

Реферлируемая диссертация посвящена экспериментальному исследованию реакции:



при энергии 650 Мэв и анализу основной совокупности экспериментальных данных об этом процессе в рассматриваемой области энергий с точки зрения представлений периферической модели Селлери /8/.

Материал диссертации изложен в 5 главах. В первой главе содержится обзор экспериментальных данных и основных теоретических

представлений по исследованию процесса $pp \rightarrow \pi^+ np$ в области энергий 660 Мэв и дается постановка задачи. Глава II посвящена описанию экспериментального устройства, состоящего из системы сцинтилляционных счетчиков и акустической искровой камеры, работающей на линии с ЭВМ "Минск-22". В главах III и IV содержится описание используемой методики восстановления событий в искровой камере и введения поправок в экспериментальные спектры, а также описание предварительных испытаний всей системы на пучке. Глава V содержит экспериментальные результаты и их сравнение с теоретическими представлениями. В приложениях I, II, III диссертации дается вывод формулы для элемента фазового объема и приводятся вспомогательные формулы, использованные при расчетах в приближении OPE.

Материалы, используемые в диссертации, содержатся в работах^{/9+16/}, докладывались на конференциях^{/17+19/} и оформлены изобретениями^{/20,21/}.

ГЛАВА I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Реакция $pp \rightarrow \pi^+ np$ в области энергий 660 Мэв экспериментально изучалась неоднократно. В большей части работ измерялись одиночные спектры π^+ -мезонов и протонов для различных углов вылета. Большая часть полученных данных нашла объяснение в рамках феноменологической модели Мандельштама^{/22/}. В то же время ряд экспериментальных результатов не совпал с предсказаниями резонансной модели Мандельштама^{/23,24/}. Эти затруднения резонансной модели, а также то обстоятельство, что многие особенности квазидвухчастичных реакций в большом диапазоне энергий выше 1 Гэв хорошо объясняются моделями, основанными на представлениях однопionного обмена^{/8,26+28/}, явились стимулом для использования в области энергий

660 Мэв модели OPE^х. Дополнительным аргументом в пользу сравнения с моделью OPE при 660 Мэв является также тот факт, что в ней механизм мезообразования рассматривается более детально, чем в модели Мандельштама^{хх}. Нами^{/9/} было выполнено более или менее систематическое сравнение с периферической моделью OPE Селлери^{/8/}, используемой в приближении (3,3)-резонанса, экспериментальных данных по одиночным спектрам π^+ -мезонов из реакции (2) для различных углов вылета, а также данных по спектрам и угловому распределению протонов из реакций (Ia) в области энергий 660 Мэв. Неплохое качественное совпадение с предсказаниями OPE формы одиночных экспериментальных спектров, объясняемое доминирующим вкладом (3,3)-резонанса, при почти полном отсутствии согласия с количественными результатами расчета, еще не позволяют уверенно судить о возможности использования модели OPE в этой области энергий. Дело в том, что, как показано Сороко^{/2/}, информация о матричном элементе процесса (2), заложенная в одиночных спектрах, неполна. Более детальные сведения о процессе (2) содержатся, например, в тройных дифференциальных сечениях.

^хСтрого говоря, OPE-механизм может доминировать в области малых величин Δ^2 . Однако в работах Феррари и Селлери^{/8,26/} путем введения формфактора и виртуальных поправок представления OPE были распространены на всю физическую область Δ^2 .

^{хх}В связи с тем, что уже после представления диссертации в Ученый совет ЛЯП ОИЯИ появились новые теоретические представления о механизме NN -взаимодействий^{/30,31/}, мы не имели возможности подробно остановиться на их обсуждении.

В соответствии с этими соображениями автором были выполнены измерения тройных дифференциальных сечений $d^3\sigma/dT_{\pi}^L d\Omega_{\pi}^L d\Omega_p^L$, характеризующих процесс (2), для шести комбинаций углов вылета π^+ -мезонов и протонов в конечном состоянии /16/. В каждом элементарном акте регистрировались на совпадения протон и π^+ -мезон, вылетающие под определенными углами, и энергия π^+ -мезона. Знание сорта регистрируемых частиц и энергии первичного пучка протонов позволяло полностью восстанавливать кинематику изучаемого процесса. Рабочие углы измерений приведены в таблице I.

Таблица I

φ_{π}^L , град.	θ_{π}^L , град.	φ_p^L , град.	θ_p^L , град.
0	83	180	17,5
0	83	180	22,5
0	83	180	29,5
0	83	0	16
0	93	180	17,5
0	93	180	29,5

ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Эксперимент был выполнен на пучке протонов синхротрона ЛЯП ОИЯИ при энергии 650 Мэв с помощью метода сцинтилляционных счетчиков в сочетании с искровой камерой, включенной в линию с ЭВМ "Минск-22". Полное восстановление кинематики событий, регистрируемых в эксперименте, позволило осуществить трудные измерения тройных ($d^3\sigma/dT_{\pi}^L d\Omega_{\pi}^L d\Omega_p^L$) дифференциальных поперечных сечений процесса (2) при различных геометрических конфигурациях опыта. Неполяризованный пучок протонов с энергией 650 Мэв падал на

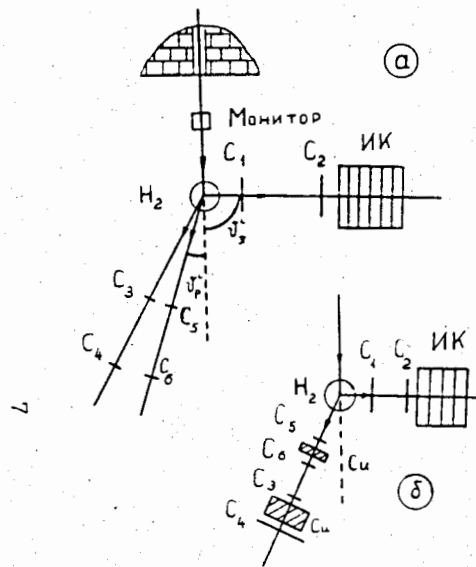


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры в экспериментальном зале: а) при одновременной регистрации протонов под двумя углами; б) при определении фона, обусловленного упругим pp -рассеянием

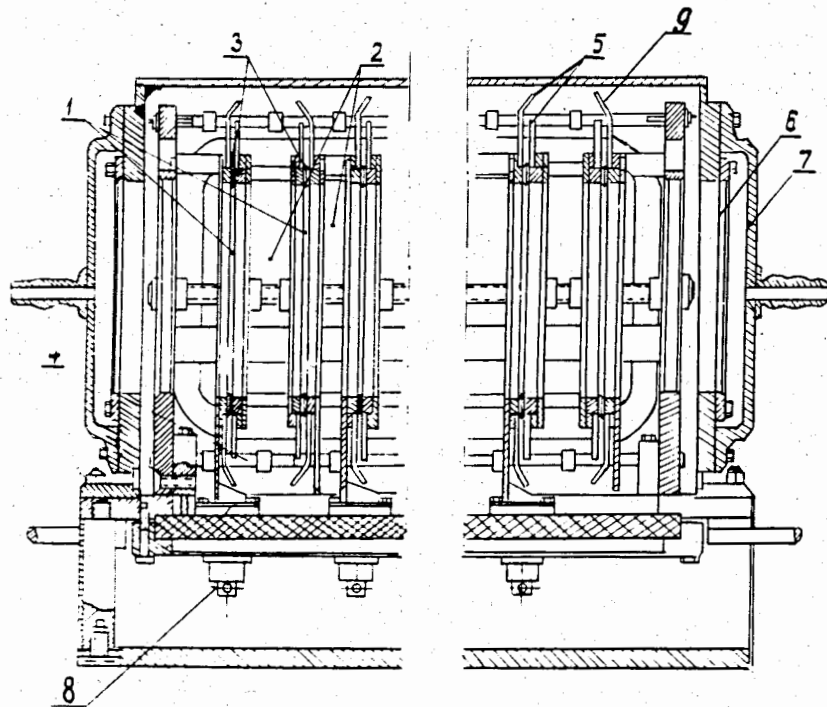


Рис. 2. Конструкция искровой камеры,

- 1 - искровые промежутки; 2 - зазоры для помещения поглотителей;
- 3 - шайбы, определяющие величины зазоров искровых промежутков;
- 4 - микрофонные стержни; 5 - звукопроводы; 6 - окна для частиц;
- 7 - вспомогательные крышки.

жидководородную мишень H_2 (см. рис. 1а). Протоны в конечном состоянии реакции регистрировались двумя параллельно работающими телескопами, состоящими из счетчиков $\text{C}_{3,4}$ и $\text{C}_{5,6}$, соответственно, а π^+ -мезоны — телескопом $\text{C}_{1,2}$ и искровой камерой. Нужные события выделялись совпадениями счетчиков $\text{C}_{1,2,3,4}$ либо $\text{C}_{1,2,5,6}$. Искровая камера позволяла определять углы влета в неё π^+ -мезонов и их энергию по пробегу в веществе поглотителей, помещаемых между промежутками камеры. Конструкция камеры приведена на рис. 2/II/. Камера имела 10 искровых промежутков, величины зазоров которых могли регулироваться. Используемые в камере микрофоны электростатического типа /20/ отличались высокой надежностью и стабильностью в работе.

Устройство микрофона показано на рис. 3. Для устранения эффекта натекания экранирующего заряда на внутренние участки поверхности пленки и, следовательно, стабилизации чувствительности микрофона, использовалась автоматическая подача смещения /21/. Автоматическое смещение позволило полностью устранить выходы микрофонов из строя из-за пробоев майларовой пленки. Схема разработанного нами микрофонного усилителя дана на рис. 4 /II/. Каждый микрофон с усилителем позволял отдельно регистрировать с эффективностью $\approx 100\%$ искры, разность расстояний которых от микрофона ≥ 4 мм. Это достигалось за счет малого мертвого времени микрофонов и специальной обработки сигналов в усилителях /17/. Для съема информации с искровой камеры нами был разработан 20-канальный временной анализатор (ВАМК) с оперативным запоминающим устройством на туннельных диодах /14/. Блок-схема анализатора представлена на рис. 5. Точность измерения временных интервалов анализатором равнялась 0,5 мксек, а полный диапазон регистрации составлял 2 мсек. Из ВАМК информация

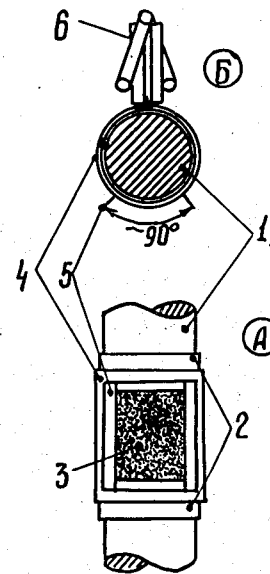


Рис. 3. Микрофон
 А - вид из центра искрового промежутка; Б- разрез в плоскости искрового промежутка;
 1 - стержень; 2 - майларовая пленка; 3 - чувствительная область микрофона; 4 - хомут;
 5 - звукозащитные экраны;
 6 - зажим

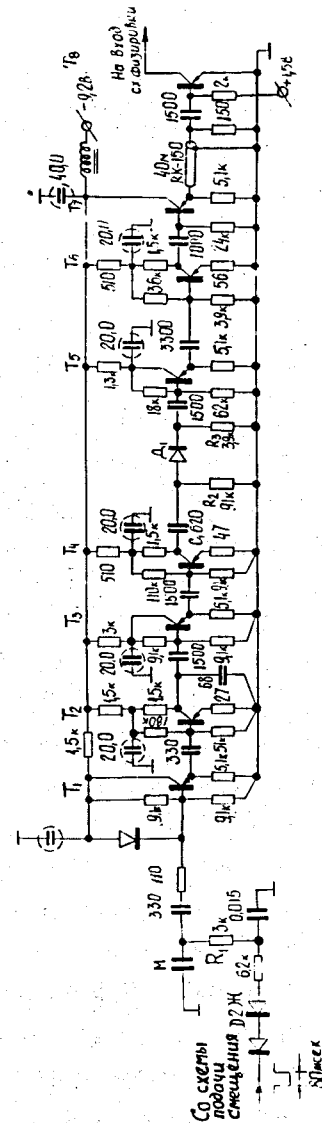


Рис. 4. Схема микрофонного усилителя. Т 1-7 - П401+ 403.

передавалась в анализатор АИ-4096 вычислительного центра ЛЯП, используемый в качестве промежуточного между ВАМК и ЭВМ запоминающего устройства. Из АИ-4096 информация передавалась по линии связи в ЭВМ "Минск-22", работающую в режиме прерывания. Правильность работы всей аппаратуры была подтверждена серией контрольных экспериментов.

ГЛАВА III. ПРОЦЕДУРА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В главе обсуждается программа восстановления треков частиц в искровой камере. Относительная погрешность определения координат искр равнялась 0,2 мм. Используемая программа восстановления событий учитывала возможность выпадения отдельных точек на треке из-за фона в экспериментальном зале и позволяла избежать необходимости введения поправки на кулоновское рассеяние π^+ -мезонов в алюминиевых поглотителях искровой камеры.

ГЛАВА IV. ФОНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОПРАВОК

В главе подробно обсуждались экспериментальные методы определения фона случайных совпадений и фона, обусловленного влиянием упругого pp -рассеяния, а также поправки к спектрам, учитывающие ядерные взаимодействия π^+ -мезонов в поглотителях искровой камеры, $\pi \rightarrow \mu$ -распады и кулоновское рассеяние π^+ -мезонов до искровой камеры. Правильность вносимых поправок контролировалась экспериментально путем измерения одиночных спектров π^+ -мезонов и сравнения их с известными из литературы данными. Например, на рис.6 приведен спектр π^+ -мезонов под углом 108° л.с. из реакций $pp \rightarrow \pi^+ n p$ и $pp \rightarrow \pi^+ d$, измеренный нами и в работе [25] (гистограмма).

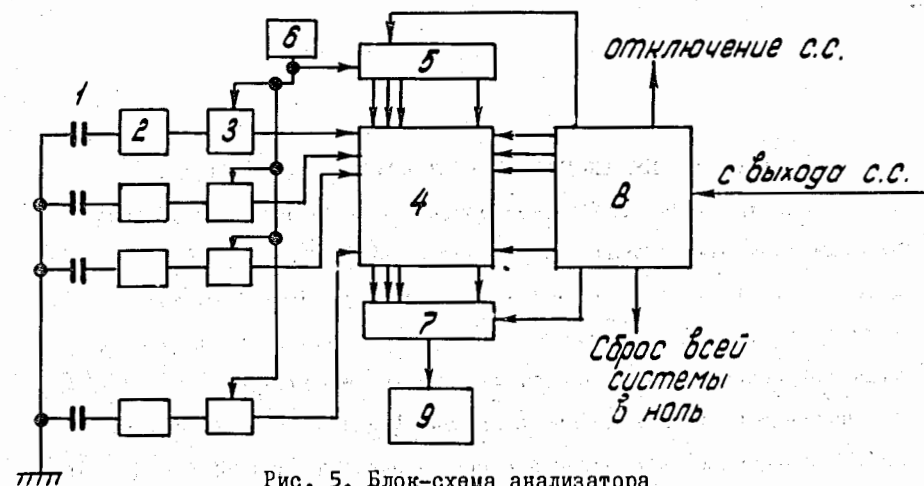


Рис. 5. Блок-схема анализатора
1 - микрофон; 2 - усилитель; 3 - схема фазирования; 4 - ОЗУ; 5 - адресный счетчик; 6 - генератор 2 Мгц; 7 - вспомогательный регистр; 8 - схема управления; 9 - внешнее накопительное устройство.

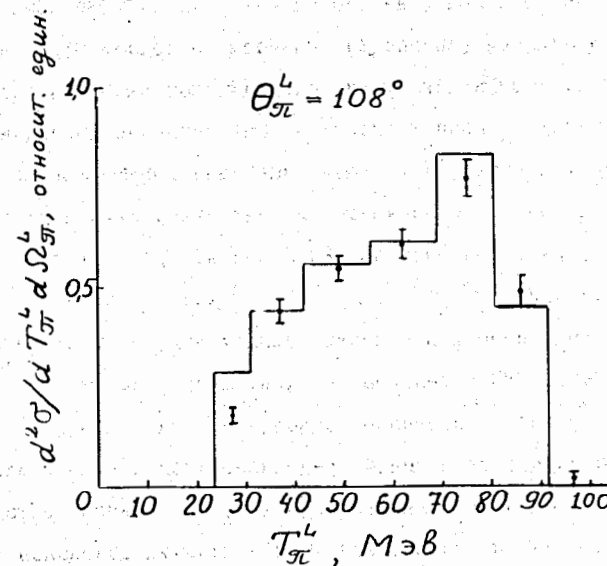


Рис.6. Спектр π^+ -мезонов из реакций (1в) и (2) под углом 108° л.с.
1 - наши измерения; гистограмма-результаты Б.С.Неганова и О.В.Савченко, пересчитанные с учетом нашего эксперимента.

ГЛАВА У. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте было зарегистрировано 8500 полезных событий, вошедших в окончательные распределения $d^3\sigma/dT_{\pi^+}d\Omega_{\pi^+}d\Omega_p^+$, представленные на рис.7,8. В каждом спектре были объединены события в угловых диапазонах, равных $\Delta\theta_{\pi^+}^+ = \Delta\varphi_{\pi^+}^+ = \pm 3,6^\circ$. На рис.9 представлены двойные дифференциальные поперечные сечения $d^2\sigma/d\Omega_{\pi^+}d\Omega_p^+$ в зависимости от угла вылета протонов θ_p^+ для двух углов $\theta_{\pi^+}^+ = 83^\circ$ и 93° . Эти сечения получены путем интегрирования сечений $d^3\sigma/dT_{\pi^+}d\Omega_{\pi^+}d\Omega_p^+$ по энергии π^+ -мезона в пределах от порога регистрации мезонов ($T_{\pi^+ \text{ пор}}^+ = 23,6$ МэВ) до максимальной. Полученные результаты сравнивались с фазовым объемом (на рис.7+9- кривые 1) и периферической моделью ОРЕ Селлери (кривые 2). Расчеты по модели ОРЕ были выполнены в тех же упрощающих предположениях, которые использовались нами в расчетах одиночных спектров. На основании проведенного сравнения можно заключить, что полученные нами экспериментальные результаты в целом не объясняются ни статистическими представлениями, ни периферической моделью ОРЕ Селлери. При этом важно отметить, что распределения $d^2\sigma/d\Omega_p^+d\Omega_{\pi^+}^+$, найденные из опыта, оказались более выделенными в области малых углов, чем распределения, предсказываемые ОРЕ и фазовым объемом. Экспериментальное сечение под углом $\theta_p^+ = 16^\circ$ существенно меньше, чем под углом $\theta_p^+ = 29,5^\circ$. Аналогичное изменение сечений предсказывается и в приближении ОРЕ. Уменьшение сечения ОРЕ для угла $\theta_p^+ = 16^\circ$, в основном, обусловлено большим удалением по переменной ω от максимума резонанса $\omega_0 = 1238$ МэВ по сравнению с углом $\theta_p^+ = 29,5^\circ$. Таким образом, этот результат наглядно демонстрирует существенную роль $(3/2, 3/2)$ - πN - взаимодействия в изучаемой реакции.

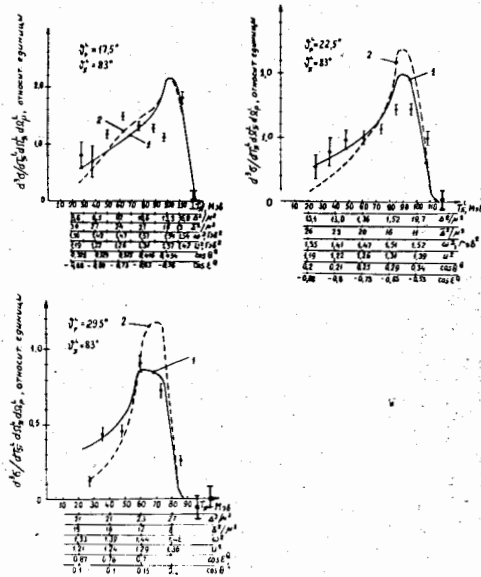


Рис. 7. Тройные дифференциальные поперечные сечения реакции $pp \rightarrow \pi^+ np$ для угла вылета π^+ -мезонов $\theta_{\pi^+}^L = 83^\circ$ и углов вылета протонов $\theta_p^L = 17,5^\circ$; $22,5^\circ$; $29,5^\circ$. Кривые 1 - фазовый объем; 2 - ORE Селлери. Кривые 1, 2 - нормированы по площади на экспериментальные распределения.

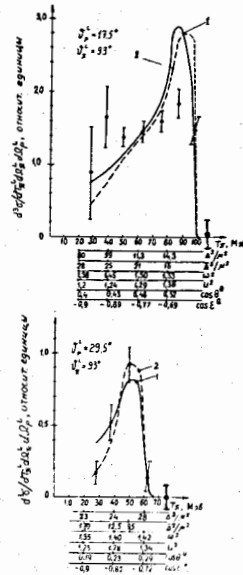


Рис. 8. Тройные дифференциальные поперечные сечения реакции $pp \rightarrow \pi^+ np$ для угла вылета π^+ -мезонов $\theta_{\pi^+}^L = 93^\circ$ и углов вылета протонов $\theta_p^L = 17,5^\circ$ и $29,5^\circ$. Обозначения те же, что и на рис. 7.

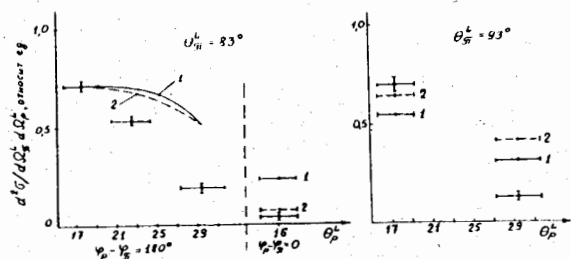


Рис. 9. Зависимость двойных дифференциальных поперечных сечений $d^2\sigma/d\Omega_{\pi}^L d\Omega_p^L$ от угла вылета протонов θ_p^L для углов вылета π^+ -мезонов $\theta_{\pi}^L = 83^\circ$ и 93° . Кривая 1 - фазовый объем; 2 - OPE.

Причину расхождения наших результатов с фазовым объемом можно понять, так как известно, что в этой области энергий существенную роль играет резонансное взаимодействие π^- -мезона с нуклонами. Вопрос об интерпретации экспериментальных данных по мезонообразованию с точки зрения теории, основанной на представлениях OPE, более сложен. Действительно, на основании проведенных нами расчетов [9], относящихся к диапазону энергий 600+660 Мэв, можно утверждать, что, с одной стороны, имеется большое количество экспериментальных данных по полным сечениям, одиночным спектрам π^+ -мезонов и протонов для различных углов, а также поляризации протонов, которые качественно описываются механизмом OPE. С другой стороны, такие величины, как коррелированные, и частично, одиночные спектры π^+ -мезонов, асимметрия в испускании π^+ -мезонов на поляризованном пучке протонов, угловое распределение протонов и коэффициенты поглощения, найденные из упругого рассеяния, не согласуются с предсказаниями, основанными на OPE-приближении.

Таким образом, модель OPE качественно описывает, в основном, только относительно простые (с точки зрения амплитуды реакции) характеристики мезонообразования. Наблюдавшееся расхождение с более сложными характеристиками ($d^3\sigma/d\Omega_{\pi}^L d\Omega_{\pi}^L d\Omega_p^L$, асимметрия и т.д.) может быть объяснено несовершенством обсуждаемой модели. Не исключено, что дальнейшая детализация модели OPE приведет к улучшению её согласия с опытом. В качестве возможных путей улучшения модели можно указать следующие. При энергии 650 Мэв реакция с образованием двух связанных нуклонов ($pp \rightarrow \pi^+ d$) происходит с относительно большой вероятностью. Вполне естественно, что и при рассмотрении канала $pp \rightarrow \pi^+ n p$ в OPE-приближении следует учесть NN -взаимодействие в конечном состоянии. Далее, анализ Л.С.Аж-

гиря, В.И.Чижилова /29/ показывает, что для описания поляризационных эффектов в реакциях (Ia) необходимо введение нерезонансных состояний πN -подсистемы и учет интерференции между всеми полюсными диаграммами, описывающими этот процесс. Возможно, что эти эффекты следует учитывать и для таких величин как $d^3\sigma/dT_1 d\Omega_1 d\Omega_2$, $d^2\sigma/d\Omega_1 d\Omega_2$, $d^2\sigma/dT d\Omega$.

И наконец, нельзя исключить из рассмотрения и другие виды механизмов мезообразования, не основанные на OPE-приближении.

В заключении диссертации обсуждается программа экспериментов по исследованию процессов (Ia) и обращается внимание на возможность использования полученных данных в качестве источника информации о мнимых добавках к величинам фазовых сдвигов в фазовом анализе pp -рассеяния.

ВЫВОДЫ

Наиболее существенные результаты диссертации сводятся к следующему.

1. Разработан и детально исследован вариант искровой камеры, использующий акустический принцип бесфильмового съема информации. Искровая камера позволяет регистрировать одновременно несколько искр в каждом промежутке без существенных потерь эффективности регистрации при точности локализации искр $\pm 0,2$ мм. В камере используются электростатические микрофоны оригинальной конструкции, с автоматической подачей смещения, обладающие надежностью и стабильностью в работе.

2. Для съема информации с акустической искровой камеры разработан 20-канальный временной анализатор с ОЗУ на туннельных диодах. Точность отсчета временных интервалов в анализаторе равна 0,5 мксек, а полный диапазон измерения - 2 мсек.

3. Для исследования процесса $pp \rightarrow \pi^+ n p$ при энергии 660 Мэв создана установка, которая состоит из искровой камеры, системы сцинтилляционных счетчиков и работает на линии с ЭВМ "Минск-22". Использование этой установки на пучке поляризованных частиц дает возможность также проводить измерения различных поляризационных параметров NN -рассеяния.

4. При энергии 650 Мэв в области переданных импульсов $\Delta^2 > 8\mu^2$ выполнены измерения тройных дифференциальных сечений $d^3\sigma/dT_1^i d\Omega_1^i d\Omega_2^i$ в реакции $pp \rightarrow \pi^+ n p$ для шести различных геометрий эксперимента. Эти измерения являются частью полного опыта по прямому определению амплитуды изучаемого процесса (2). Полученные спектры сравнивались с фазовым объемом и периферической моделью OPE Селлери /8/. Установлено, что экспериментальные результаты в целом не объясняются фазовым объемом и моделью OPE.

5. Проведенный автором систематический анализ результатов описанного выше корреляционного эксперимента и большого количества экспериментальных данных по мезообразованию в области энергий 600+650 Мэв, полученных другими авторами, дает основание утверждать, что периферическая модель OPE Селлери в приближении (3,3)-резонанса не позволяет достаточно полно описать всю имеющуюся в этой области энергий совокупность данных по мезообразованию в реакции $pp \rightarrow \pi^+ n p$. В связи с этим автор обращает внимание на тот факт, что основные предпосылки модели OPE при использовании ее в области энергий 660 Мэв должны быть модифицированы. Возможно, что тщательный учет NN -взаимодействия в конечном состоянии, всех возможных состояний πN -подсистемы и интерференционных членов будет эффективен для улучшения согласия с опытом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Д.Пузиков, Р.М.Рындин, Я.А.Сморodinский. ЖЭТФ, 32, 592 (1957).
2. Л.М.Сороко. ЖЭТФ, 34, 87, (1958).
3. Л.М.Сороко. Препринт ОИЯИ, Р-226, Дубна (1958).
4. Р.М.Рындин, Я.А.Сморodinский. ЖЭТФ, 32, 1584 (1957)
5. Л.М.Сороко. ЖЭТФ, 35, 267 (1958).
6. В.Г.Вовченко. ДАН СССР, 163, 1348, (1965).
7. С.М.Биленький, Л.И.Лапидус, Р.М.Рындин. УФН, 84, 243 (1964).
8. F.Selleri. Nuovo Cim., 40A, 236 (1965).
9. Р.Я.Зулькарнеев, Б.М.Овчинников, Н.А.Полтавская, О.Я.Федоров. Препринт ОИЯИ, Р1-5571, Дубна 1971.
10. В.Г.Вовченко, Р.Я.Зулькарнеев, С.В.Медведь и др. Препринт ОИЯИ, Р13-4483, Дубна 1969, ПТЭ, № 5, 212 (1969) .
11. В.Г.Вовченко, Б.М.Овчинников, О.Я.Федоров. Препринт ФТИ, № 081, Ленинград 1968; ПТЭ, № 2, 40 (1969).
12. Б.М.Овчинников. Препринт ФТИ, № 103, Ленинград 1968, ПТЭ № 3, 58 (1969).
13. Ф.Г.Лепехин, Б.М.Овчинников. ПТЭ, № 3, 41 (1966).
14. Ф.Г.Лепехин, Б.М.Овчинников. ПТЭ, № 4, 47 (1966).
15. Б.М.Овчинников, Н.А.Полтавская, Д.Ф.Рябов, О.Я.Федоров. Препринт ФТИ № 102, Ленинград 1968.
16. Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Надеждин, С.В.Медведь, Б.М.Овчинников и др. Препринт ОИЯИ, Р1-5570, Дубна 1971г.
17. Ф.Г.Лепехин, Б.М.Овчинников. Материалы II Симпозиума по ядерной радиоэлектронике. Препринт ОИЯИ, № 2205, Дубна 1964.
18. Ф.Г.Лепехин, Б.М.Овчинников. Препринт ОИЯИ, 13-2958, Дубна 1966.
19. В.Г.Вовченко, Р.Я.Зулькарнеев, С.В.Медведь и др. Препринт ОИЯИ, № 13-4527, Дубна 1969.
20. Б.М.Овчинников, В.Г.Вовченко, О.Я.Федоров. "Микрофон электростатического типа", авторское свидетельство № 272377, зарегистрированное 24 марта 1970 г.
21. Б.М.Овчинников, В.Г.Вовченко, О.Я.Федоров. "Способ стабилизации чувствительности микрофона", авторское свидетельство № 270 816, зарегистрированное 4 марта 1970г.
22. S.Mandelstam. Proc.Roy.Soc., A244, 491 (1958).
23. В.Г.Вовченко, Н.И.Костанашвили, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, Р1-4629, Дубна, 1969.
24. В.М.Гужавин, Г.К.Клигер, В.З.Колганов и др. ЖЭТФ, 46, 1245 (1964).
25. Б.С.Неганов , О.В.Савченко. ЖЭТФ, 32, 1265 (1957).
26. E.Ferrari, F.Selleri. Nuovo Cim., 27, 1450 (1963).
27. J.D.Jackson. Rev.Mod.Phys., 37, 484 (1965).
28. G.Wolf. Phys.Rev., 182, 1538 (1969).
29. Л.С.Ажгирей, В.И.Чижиков, Препринт ОИЯИ, Р2-4937, Дубна 1970.
30. D.Drechsel, H.J.Weber. Nucl.Phys., B25, 159 (1970).
31. A.CHASTEL. Nucl.Phys., 26B, No. 2 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1971 года.