

Л-33



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8426

ЛЕБЕДЕВ
Ростислав Михайлович

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ СО 100-САНТИМЕТРОВОЙ
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРОЙ
И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
НЕУПРУГИХ π^-p -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 5 ГэВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук профессор А.Н.Горбунов,
доктор физико-математических наук старший
научный сотрудник В.Т.Смолянкин,
доктор физико-математических наук старший
научный сотрудник В.А.Копылов-
Свиридов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского
государственного университета им. М.В.Ломоносова, г.Москва.

Автореферат разослан "15" января 1975 г.

Защита диссертации состоится "Март" 1975 г. на
заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий Объе-
диненного института ядерных исследований, г.Дубна, Москов-
ской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядер-
ных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

М.Ф.Лихачев

1 - 8426

ЛЕБЕДЕВ
Ростислав Михайлович

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ СО 100-САНТИМЕТРОВОЙ
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРОЙ
И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
НЕУПРУГИХ π^-p -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 5 ГэВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

К 1961 году, то есть к моменту начала разработки проекта 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры, исследование адрон-адронных столкновений, приводящих к образованию в конечном состоянии нескольких частиц, являлось одной из важнейших задач физики высоких энергий. Актуальность такого рода исследований в связи с дальнейшим развитием современных теорий не уменьшилась и к настоящему времени ее центр тяжести сместился, пожалуй, в область более высоких энергий. Однако и в области теперь уже умеренных энергий, где идет интенсивное образование резонансов, детальное изучение многочастичных состояний в эксклюзивных процессах продолжает оставаться весьма актуальным. Установки с пузырьковыми камерами, и в особенности с камерами, наполненными жидким водородом, дают физикам-экспериментаторам, не преувеличением будет сказать, уникальные возможности и по настоящее время. Благодаря возникшей недавно у нас идее^{/1/} - применять установки с водородными пузырьковыми камерами в обратной геометрии (нуклон является покоящейся мишенью), их использование распространилось в область исследований релятивистской ядерной физики. Подтверждением сказанному является тот факт, что с установкой со 100-сантиметровой водородной пузырьковой камерой ЛВЗ ОИЯИ, созданию которой, включая исследование основных параметров, посвящаются две части реферируемой диссертации, к настоящему времени проведено различными группами физиков три эксперимента: исследование неупругих P -взаимодействий^{/2/} (которому посвящается III часть реферируемой диссертации), исследование неупругих дейтрон-протонных взаимодействий^{/3/}, исследование взаимодействий монохроматических нейтронов с протонами^{/4/}.

Обработка экспериментальных данных, получаемых с помощью ВПК-100, проводится не только в ОИЯИ, но и в других институтах стран-членов ОИЯИ.

Диссертация состоит из введения, тринадцати глав, подразделенных на три части, и выводов.

Во введении рассматривается вопрос актуальности создания установки с ВПК-100 в ОИЯИ в связи с существовавшей к периоду 1961-1964 годов ситуацией. Из таблицы 1, приведенной в диссертации, явствует, что созданная установка^{/5/} с 1964 г. по 1969 г. была крупнейшей в СССР и странах-членах ОИЯИ, она и по сей день является единственной действующей на пучках синхрофазотрона ОИЯИ водородной пузырьковой камерой.

В первой главе рассматривается общая блок-схема установки, в которой выделено 16 основных систем, связанных между собой функциональными связями, очевидными из рис.1. Каждой из систем дается краткое определение. Исходя из анализа зависимости относительной ошибки определения импульса от величины магнитного поля и реальных возможностей для размещения ВПК-100, был выбран магнит МС-12^{/6/}. Для данного магнита подбирался тип камеры с поршневым механизмом изменения давления с расширением вбок, вверх. Камера с расширением в центральной ее части вниз, подобная камере^{/7/}, была отклонена на основании расчета влияния отверстия в полюсе на величину магнитного поля (показано, что неоднородность поля достигла бы 15-20% вместо 5% по проекту). Путем расчета зависимости относительной ошибки определения импульса частицы и ошибки определения углов от длины измеряемого трека, а также на основе экспериментальных распределений угол-импульс^{/8/} показывается, что камера, размещенная в магните МС-12, имеющая рабочий объем $950 \times 300 \times 350 \text{ мм}^3$, обеспечит измерения

импульсов частиц в интервале 1-5 ГэВ/с лучше 3%, а угловые ошибки при этом не будут более 3 мрад (при условии, что пространственное разрешение по X-и Y-координатам не хуже 0,1 мм). Исходя из того, что в ряде экспериментов, например с антипротонными пучками, могла возникнуть необходимость работы с растянутым во времени пучком частиц (до 2,5-4 мсек), была избрана медленная система расширения, работающая за счет внутренней энергии, накопленной в жидком водороде при его сжатии (с наличием на кривой изменения давления плато протяженностью 4-8 мсек). Для магнита МС-12 единственным правильным решением при выборе схемы освещения была автоколлимационная система с фотографированием в темном поле. Наилучшая светосила осветительного устройства была достигнута за счет применения апланатического широкоугольного конденсора и раstra полного внутреннего отражения, который был впервые применен и разработан для установки ВПК-100^{/9/}. Растр полного внутреннего отражения одновременно решал проблему однородности освещения во всем рабочем объеме, включая зону, граничащую с растром. Дальнейшее повышение однородности достиглось применением для фотографирования красного фильтра (КС-10), в значительной степени уменьшающего хроматизм изображения и фон рассеянного света^{/10/}. Расчет и оценки показали, что в избранной схеме неоднородность освещения в одной плоскости не превышает 7%. Корпус и фланец камеры изготовлены из литой нержавеющей стали Х18 №12 МЗТ, известной своими антимагнитными свойствами, остающимися стабильными по отношению к фазовым переходам в области рабочих для ВПК температур. Для защитных стекол-иллюминаторов выбрано стекло К-8, дающее наименьшую свильность и пузырчатость. Призмы раstra полного внутреннего отражения изготовлены из стекла К-10, обладающего достаточно большим коэффициентом преломления относительно жидкого во-

дорода, чтобы ширина призм получилась разумно большой (в нашем случае 120 мм).

Поскольку стандартных данных о поведении стали X18 №12 МЭТ при температурах жидкого водорода не было, то были проведены исследования ее свойств. Оказалось, что по основному параметру прочности при низких температурах - ударной вязкости сталь указанного типа может быть применена для изготовления деталей камеры (ударная вязкость литья: для корпуса камеры 3,7 кгм/см² и для фланца - 4,4 кгм/см^{2/11/}).

Надежность и безопасность работы с ВПК-100 была обеспечена тремя способами: 1) При конструировании ВПК-100 была применена дьбарная система теплоизоляции^{/12/}, существенно повысившая безопасность работы с ВПК-100 по сравнению с камерами с высоковакуумной системой теплоизоляции. Анализ возможных источников ошибок, которые могут быть вызваны рефракцией световых лучей в газообразном слое водорода^{/13/}, через который ведется фотографирование, показал, что при достаточно жестких требованиях к системе термостатирования рефракцию можно учесть в блоках оптических констант программы геометрической реконструкции. 2) Все устройства, способные вызвать искрообразование и находящиеся в зале, где расположена ВПК-100, заключены в герметичные кожухи и продуваются чистым газом. Они снабжены стандартными датчиками давления, включенными в схему аварийной сигнализации и блокировок, автоматически прекращающих работу установки и оповещающих оператора в случаях угрозы аварии. 3) В зале, где расположена ВПК-100, положение датчиков газоанализаторов выбиралось таким образом, что при появлении где-либо в помещении водорода один из этих датчиков обязательно срабатывает и включает резервную двенадцатикратную вентиляцию.

Во второй главе рассматривается устройство ВПК-100 и конструкция некоторых ее узлов. На рис.2 схематически изображена конструкция ВПК-100. Наиболее интересными элементами конструкции ВПК-100, в которых заложены новые решения, отличающие ее от других водородных камер, являются: сосуд дьбара, образующий вместе с газовым наполнением водородом систему дьбарной теплоизоляции; растр полного внутреннего отражения^{/14/}, являющийся в то же время частью системы освещения, радиатор^{/12/}, позволяющий в стекле иметь малый градиент температуры и являющийся частью системы термостатирования ВПК-100; система надувного уплотнения^{/15/}, которая по существу является частью конструкции корпуса камеры. Сравнение характеристик системы уплотнения с характеристиками уплотнения 72" камеры Беркли показало, что предложенная нами конструкция, впервые реализованная в ВПК-100, не уступает системе 72" камеры Беркли, а по целому ряду характеристик ее превосходит.

В массивных деталях больших водородных пузырьковых камер, помещенных в значительное магнитное поле, при резких аварийных отключениях тока в обмотках магнита могут возникать тепловые и динамические нагрузки, обусловленные своим происхождением индукционными токами и токами Фуко.

При проектировании массивных деталей камеры диссертантом были рассчитаны тепловые нагрузки, возникающие во фланце и корпусе камеры. Время спада тока было принято равным собственному времени релаксации $\tau = 6$ сек. Предполагалось, что фланец и боковые стенки нагреваются в основном индукционными токами, а дно камеры - токами Фуко. Расчеты показали, что тепловыделение в деталях камеры не пре-

высит 1 большой калории, а пндёромоторные силы, возникающие в деталях камеры, вызовут эффект, эквивалентный повышению давления на 0,2 атмосферы^{/6/}.

Для приведения в действие механизма изменения давления была разработана система привода с помощью двухступенчатых пневмоэлектрических клапанов^{/16/}, обеспечивающая стабильную работу камеры.

В третьей главе дается краткое описание стереофотограмметрической установки^{/17/}, конструкция которой включает в себя базовую плиту, на которой смонтированы: четыре фотокамеры, два фильмопротяжных механизма, снабженных двумя кассетами каждый, и осветитель-формирователь светового конуса, включающий в себя три импульсные лампы ИФК-50. Отражатель осветителя вынесен в рабочий объем камеры. Он сконструирован из 12 призм полного внутреннего отражения. Призма - это стеклянная конструкция, образованная сечениями следующих поверхностей: входной в форме тороида с радиусами кривизны 2680 мм и 840 мм и двумя отражающими коническими, пересекающимися под углом 90°, образующими в пересечении ребро с радиусом 1900 мм. Такой растр дает максимально возможную светотдачу без применения отражающих покрытий. Его входная поверхность оптическая и поэтому обладает наименьшим паразитным рассеянием. Основные характеристики фотограмметрической системы следующие: фотографирование ведется на четыре стереопроекции через объективы "Руссар-Плазмат," Т2, расположенные в вершинах прямоугольника 500x310 мм²; наибольший угол фотографирования камеры 21,5° при рабочем угле объектива 30°; увеличения 0,106; 0,116; 0,096 для плоскостей наведения, переднего и заднего планов соответственно; астигматизм объективов при углах фотографирования до 22° пренебрежимо мал; дисторсия распределена симметрично относительно плоскости наведения (середина камеры) и при углах фотографи-

рования 17° составляет $\begin{matrix} -0,016 \\ +0,008 \end{matrix}$, а при углах 10° практически обращается в 0. Один цикл протяжки пленки длится 4,3 сек.

В четвертой главе дается описание системы управления и контроля режима работы установки и синхронизации ее работы с ускорителем^{/18/}, разработанной исходя из требований, сформулированных для ВПК-100 в первой главе. Главными из этих требований являются: 1) стабильность и надежность работы всех систем, обеспечивающая длительную бесперебойную и аварийно-устойчивую эксплуатацию установки; 2) временная стабильность запуска всех систем, обеспечивающая повторяемость режима камеры в отдельных циклах и временную стабильность попадания пучка в камеру в минимуме кривой изменения давления. Удовлетворение этих требований удачно решается применением для схемных решений полупроводниковых приборов. Для надежности регистрации неисправностей и аварийных режимов функциональных цепей водородной камеры применены логические схемы "нет", "и" и "или" в системах звуковой и световой сигнализации.

Вся аппаратура разделена на функциональные блоки, которые построены по модульному принципу. Для построения блоков ЭПУ применено 11 типов стандартных для установки с ВПК-100 модулей. В случае неисправности замене сразу подлежит модуль, устанавливаемый в схему на разъеме.

Временная диаграмма работы пузырьковой камеры и функциональная схема построения ЭПУ для ВПК-100 показаны на рис. 4, из которого видно, что управление всем комплексом ВПК-100 осуществляется с помощью 4 пусковых импульсов: 1 - импульс оповещения начала ускорения, проходящий за 3 сек до сброса частиц на мишень, 2-импульс запуска физической аппаратуры (ИФА), этот импульс также приходит от ускорителя, но за 80±0,5 мсек до сброса частиц на мишень, 3-запускает начало строба,

может быть как внешним, так и внутренним, задержанным относительно ИФА, 4 - приходит от первой или заданной стробированной частицы. Временное положение всех указанных импульсов регулируется соответствующими блоками задержек (БВЗ), обеспечивающими точность 0,5% при задержке 100 мсек. Температурный коэффициент стабильности БВЗ в диапазоне температур 18°-30°C не превышает 0,0025% на 1°.

Все аварийные сигналы, блокирующие работу установки, выведены в виде светового табло на отдельную панель. Деблокировка происходит автоматически после устранения неисправности. Всего предусмотрено 13 аварийных случаев, например: повышение давления в камере, ухудшение вакуума в дьюаре и т.п. Все блоки управления отдельными системами установки скомпонованы в виде пульта управления.

Во второй части диссертации рассмотрены некоторые методические вопросы^{/19/}, главным образом связанные с исследованиями различного рода погрешностей и возможностей возникновения систематических ошибок, а также методические вопросы обработки снимков. Это весьма важная часть, поскольку информация с ВПК-100 обрабатывается впервые.

В главе пятой проведен анализ вопроса о зависимости качества получаемых фотографий от спектрального состава света, в котором ведется фотографирование событий в водородной пузырьковой камере. В работе^{/10/} была показана целесообразность фотографирования в красном свете за счет уменьшения хроматизма изображения и рассеянного фона.^{/47/} Применение в осветителе для ВПК-100 красного фильтра КС-10, граница пропускания которого находится в области 6000 Å, позволило заметно поднять контраст изображений следов, в особенности на больших углах, т.е. на краях поля зрения. Повысился также контраст и за счет уменьшения рассеянного фона. Красный фильтр отфильтровывает около 60% света, а увеличить энергию вспышки пришлось всего в 1,3 раза. Сканирование трека на снимке с ВПК-100 на

микроденситометре дало величину его ширины 30 микрон. Качество получаемых с красным фильтром фотографий позволило в дальнейшем вести их обработку на автомате НРД.

В главе шестой описываются результаты исследования характеристик магнитного поля магнита МС-12^{/6/}. Магнитное поле измерялось датчиком Холла с точностью 0,2%. Поле было измерено с шагом 50 мм. Средний градиент Z-компоненты поля оказался равным 47 гаусс/см, а ее средняя величина в средней плоскости камеры составила 18580±9 гаусс. Максимальные отклонения в граничных плоскостях: +650, -750. Для проверки возможного влияния материала камеры в 12 реперных точках поле было измерено повторно при собранных в магните деталях камеры. В пределах ошибок измерений не было замечено систематических смещений от ранее измеренных в этих точках значений. Возможность изменения магнитной структуры материала камеры при температуре жидкого водорода проверялась путем измерения массы K⁰-мезона, рассчитанной из нефитированных параметров распадных частиц. По распределению из 510 вылок получено значение массы 0,4973±0,0004 ГэВ. Из сравнения с табличным значением видно, что магнитное поле в рабочем объеме камеры не может иметь сдвига более 0,2%.

В главе седьмой описывается система дозировки пучка^{/20/}, примененная нами в первом эксперименте с ВПК-100 в пучке П⁻-мезонов с импульсом 5 ГэВ/с. Разработанная совместно с сотрудниками система дозировки при экспозиции пузырьковых камер во внешних пучках ускорителя применена в Советском Союзе впервые. Ее применение дало исключительно хороший эффект равномерности загрузки снимков частицами, что хорошо иллюстрирует рис. 5. Это, в свою очередь, заметно повысило эффективность просмотра и обмера снимков.

В восьмой главе представляется описание общей схемы массовой обработки событий в П-р-эксперименте при 5 ГэВ/с. Алгоритм этой схемы построен на базе оборудования Лаборатории вычислительной техники и автоматизации: ПУОС-10, ЭВМ СДС-1604А и СДС-160 (позднее подключилась цепь ПУОС-на линии с БЭСМ-4)^{/21/}. Просмотровые столы УПС-50-80^{/22/}, изготовленные в виде двух действующих макетов специально для просмотра пленки с ВПК-100, были включены в эту схему уже на стадии пробной эксплуатации, и более половины пленки (более 250 000 фотографий) было просмотрено на них. В качестве звена в цепи обработки включена система программ обработки событий на ЭВМ СДС-1604А, построенная на базе программ PRIT, THRESH, GRIND, SLICE, SUMX, адаптированных сотрудниками ЛВТА^{/23/} для этой ЭВМ. Цепь базовых программ была оснащена дополнительно вспомогательными программами^{/24/}. Это позволило получить единую систему, по которой прохождение событий совершалось автоматически. Следует отметить, что указанный комплекс обработки событий на ЭВМ СДС-1604А в виде, изображенном на рис. 3а, б, был впервые введен в систематическую эксплуатацию под руководством и при участии диссертанта. Следует отметить важную роль введения в систему вспомогательных программ, состоящую в том, что они позволили проводить любые выборки и упорядочения событий при использовании ЭВМ. Это весьма важно, поскольку базовая программа Слайс, подготавливающая стандартную DST, ожидает на ленте события, упорядоченные по их кодовому числу. Поэтому все события, поступающие после перемеров, требовали обязательной пересортировки (таких событий было ~ 30%).

В девятой главе сосредоточены основные результаты исследования точностей измерений физических величин на пленках с ВПК-100^{/19/}. Следует подчеркнуть важность этих исследований, поскольку установка с

ВПК-100 вступила в строй впервые, а в ее конструкции были впервые заложены принципы, которые могли оказаться источником дополнительных искажений (например, дьяварная система теплоизоляции с фотографированием через столб газообразного водорода с градиентом температур). Были проведены следующие исследования.

1. Измерены ложные кривизны пучковых следов (P=5 ГэВ/с), сфотографированных в отсутствие магнитного поля. Установлено, что динамические дисторсии следов в ВПК-100 длиной 90 см при фотографировании с задержкой света менее 2 мсек могут вносить погрешность для частиц с импульсом 5 ГэВ/с, не превышающую ошибку, вызываемую кулоновским многократным рассеянием. При задержках меньше 1,2 мсек ошибка пренебрежимо мала (рабочие фотографии получались с задержкой света 1,6-1,8 мсек).

2. Тремя способами определена пространственная разрешающая способность установки при измерениях на приборах ПУОС-10 и восстановлении пространственных координат программой THRESH а) по распределению восстановления координат реперных крестов на холодном стекле и призме растра; б) по распределению остатков среднеквадратичного разброса точек около фитированной к ним программой THRESH спирали; в) по исследованию зависимости доли фитируемых программой GRIND событий с четырьмя степенями свободы от значения константы f_0 , применяемой в GRIND для вычисления ошибок в определении кривизны, плоского угла и угла погружения. Во всех трех случаях было получено значение, близкое к 70 мкм в пространстве камеры.

3. Был проведен анализ статистического сравнения фитированных и нефитированных (в программе GRIND) параметров следов событий, измерявшихся и обчитывавшихся в Дубне и Беркли по распределениям величин:

$$P = \frac{\alpha_{\text{нефит}} - \alpha_{\text{фит}}}{\sqrt{\epsilon_{\text{нефит}}^2 - \epsilon_{\text{фит}}^2}}$$

В случае, если нет систематических ошибок и правильно сбалансированы внутренние и внешние ошибки в программе GRIND, распределения P для $1/\rho$, φ , λ должны быть нормальными со средним значением 0 и среднеквадратичным уклоном 1. Хотя в нашем случае и не было полностью скомпенсировано отношение внутренних ошибок к внешним, характеристики распределений величин P получились вполне удовлетворительными, что позволило объединять результаты разных измерений.

В качестве наиболее общей характеристики установки были определены разрешения эффективных масс, которые приведены в таблице 1. На основании проведенных исследований можно заключить, что ВПК-100 является установкой, по классу точности вполне соответствующей мировым стандартам.

Третья часть диссертации посвящается непосредственным исследованиям $\Pi\Pi$ -взаимодействий при 5 ГэВ/с в первом эксперименте, проводившемся с ВПК-100. Для более глубокого анализа по мере необходимости используются результаты, полученные в $\Pi\Pi$ -экспериментах другими авторами при более высоких энергиях. Наши исследования основываются примерно на 15000 событий с четырьмя заряженными частицами в конечном состоянии и 3184 событиями с шестью заряженными частицами в конечном состоянии, записанными на лентах суммарных результатов (DST). Основные экспериментальные результаты были опубликованы в работах /25-29/.

В главе десятой представляются результаты качественного исследования некоторых общих характеристик $\Pi\Pi$ -событий с четырьмя и ше-

Таблица 1
Разрешение 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры для известных резонансов

Название комбинации	Область значений эффективных масс, ГэВ	Разрешение $R = \sqrt{\sum_i (\Delta M_{\text{эфф}}^i)^2 / n}$ для разных каналов реакций в МэВ. Ручка ≈ 5 ГэВ/с				
		$\Pi^+\Pi^-$	$\Pi^+\Pi^0$	$2\Pi^+\Pi^-$	$2\Pi^+\Pi^0$	$3\Pi^+\Pi^-$
Π^+	1,15-1,30	5,5±0,13	6,5±0,3	10±0,5	5±0,13	7,9±0,3
Π^-	1,15-1,30	5,6±0,13	6,3±0,1	9,3±0,3	5±0,11	8 ±0,2
Π^0	1,15-1,30		25±0,9			
$\Pi^+\Pi^-$	0,66-0,86	6,1±0,10	12±1,3	12±0,2	8,4±0,12	11±0,23
$\Pi^+\Pi^0$	0,66-0,86		28±0,9			27±2,9
$\Pi^-\Pi^0$	0,66-0,86		30±0,9			27±0,6
$\Pi^+\Pi^-\Pi^0$	1,30-1,34	9,1±0,24	10±0,3	15±0,4	12±0,35	11±0,24
$\Pi^+\Pi^-\Pi^+\Pi^0$	0,540-0,558		12±2,0			13±0,6
$\Pi^+\Pi^-\Pi^-\Pi^0$	0,764-0,804		21±0,9			20±0,9
$\Pi^+\Pi^-\Pi^-\Pi^+\Pi^0$	0,95 - 1,04					24±1,5
$\Pi^+\Pi^-\Pi^-\Pi^+\Pi^-\Pi^0$	1,49 - 1,71	6,8±0,20				8,7±0,22

*) $(\Delta M_{\text{эфф}})^2$ - квадрат ошибки в эффективной массе для отдельного события

стью заряженными частицами в конечном состоянии. При 5 ГэВ/с все топологические сечения событий с шестью заряженными частицами в 8-10 раз меньше соответствующих сечений с четырьмя заряженными частицами.

При анализе распределений по поперечному импульсу наблюдаются следующие закономерности: средний поперечный импульс нуклонов во всех каналах реакции при обеих множественностях больше, чем средний поперечный импульс пионов. В каналах, где сохраняется протон, средний поперечный импульс отрицательнозаряженных пионов несколько больше, чем положительнозаряженных. В каналах, где протон переходит в нейтрон, наблюдается строгое равенство среднего поперечного импульса π^+ и π^- -мезонов. R_1 четырехлучевых больше, чем R_1 шестилучевых событий. В распределении частиц по продольному импульсу наблюдается сильная зависимость асимметрии $(F-B)/(F+B)$ от множественности рождающихся мезонов. С увеличением множественности асимметрия быстро падает (в особенности у пионов).

Изложенные выше факты качественно указывают на то, что реакция $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^-$ является наиболее периферической. Появление заметной асимметрии в угловых распределениях положительнозаряженных и нейтральных пионов является следствием периферического рождения, по-видимому, в первую очередь P_0 - мезонов.

В таблице 2 сравниваются результаты определения сечений резонансов в различных каналах реакции:

$$\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^- \quad (\pi^+\pi^-) \quad (1)$$

$$\rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 \quad (\pi^+\pi^-) \quad (2)$$

$$\rightarrow \pi^+\pi^+\pi^- \quad (\pi^+\pi^-) \quad (3)$$

Таблица 2

Канал	Резонанс	Масса в МэВ	Ширина в МэВ	Сечение, мбарн
1(4)	$\Delta^{++}/1236/$	1207 \pm 3	83 \pm 6	0,520 \pm 0,040
1(6)		1203 \pm 6	80 \pm 32	0,100 \pm 0,029
1(4)	ρ_0	775 \pm 4	121 \pm 10	0,760 \pm 0,060
1(6)		738 \pm 9	125 фикс.	0,100
1(4)	Δ^+	1300 табл.	90 табл.	> 0,140
2(4)		$\Delta^{++}/1236/$	1207 \pm 6	123 \pm 19
2(4)	ρ_0	778 \pm 7	131 \pm 20	0,430 \pm 0,060
2(4)	ρ^-	772 \pm 7	120 \pm 21	0,370 \pm 0,060
2(4)	ω_0	786 \pm 2	38 \pm 2	0,410 \pm 0,060
2(6)		785,4 \pm 1,5	26 \pm 3	0,151 \pm 0,015
2(4)	η_0	556 \pm 4	5 \pm 29	0,020 \pm 0,009
2(6)		550 фикс.	14 \pm 3	0,028 \pm 0,006
2(4)	η	1210 табл.	130 табл.	> 0,060
2(6)		χ^0	17 случаев	
3(4)	$\Delta^-/1236/$	1232 \pm 5	56 \pm 14	0,176 \pm 0,035
3(6)		1214 \pm 13	50 \pm 31	0,031 \pm 0,015
3(4)	ρ_0	758 \pm 7	113 \pm 20	0,440 \pm 0,070

Сечения резонансов определялись путем подгонки по методу наименьших квадратов кривой, представляющей суперпозицию фона с Брейт - Вигнеровским распределением

$$BRW(M) = \frac{\Gamma(M)}{(M^2 - M_0^2)^2 + M_0^2 \Gamma^2(M)}, \text{ где}$$

$$\Gamma(M) = \Gamma_0 \left(q / q_0 \right)^{2l+1},$$

к экспериментальным распределениям. Фон определялся генерацией событий по методу Монте-Карло с помощью программы FOWL^{/30/} с учетом

наклона в распределении по t для нуклонов. Фоновая кривая получалась смешиванием кривых фазовых объемов (с учетом наклона) с кривыми, учитывавшими отражения резонансов, в пропорциях, соответствующих сечению их рождения. Кроме резонансов, указанных в таблице, наблюдались эффекты от рождения ρ^+ -мезона в реакции 2(4): ступенька в области массы ρ -мезона, избытки в распределении эффективных масс $P \Pi^+ \Pi^-$ в реакции 1(4) при значениях масс 1500 МэВ и 1700 МэВ.

Исследование наклонов в t' - распределениях для масс $M_{\pi^+\pi^-}$ и $M_{\rho\pi^+}$ показало, что для событий, попадающих в область масс ρ_0 - и Δ^{++} -резонансов, наклоны значительно больше, чем для нерезонансных областей: наклон $A(\Pi^+\Pi^-)_{\rho_0} = 6,2 \pm 0,5$; наклон $A(\Pi^+\Pi^-)_{\Delta^{++}} = 4,5 \pm 0,4$; наклон $A(\rho\pi^+)_{\Delta^{++}} = 8,2 \pm 0,7$; наклон $A(\rho\pi^+) = 2,8 \pm 0,6$, что свидетельствует о сильно периферическом образовании этих резонансов в реакции 1(4).

Проведенный качественный анализ различных каналов реакций с четырьмя заряженными частицами в конечном состоянии, а также анализ реакции $\Pi^-p \rightarrow p \Pi^+ \Pi^- \Pi^-$ в пространстве продольного импульса^{/31/} показывает, что указанная реакция при 5 ГэВ/с несет на себе все признаки сильно периферического процесса. В ней около 80% всех событий идет через конечные состояния $\rho^0 \rho\pi^-$ и $\Delta^{++} \Pi^+ \Pi^-$. К кандидатам на возможность померонного обмена можно отнести менее 20% всех событий. Поэтому дальнейший анализ этой реакции целесообразно выполнять в модели однопионного обмена.

В главах одиннадцатой и двенадцатой рассматривается вопрос выбора модели для описания реакции $\Pi^-p \rightarrow p \Pi^+ \Pi^- \Pi^-$ и дается описание экспериментальных данных с помощью OPEP-модели. На основании ранее проведенного анализа реакций с шестью заряженными частицами в конечном состоянии, проведенного диссертантом и коллегами в работах

^{/29,28/}, показывается, что даже при большой множественности применение моделей статистического типа не может объяснить удовлетворительно совокупность экспериментальных результатов. Качественный анализ этой реакции, выполненный в предыдущей главе, показывает, что подавляющая часть ее сечения уже при 5 ГэВ/с может соответствовать диаграммам однопионного обмена.

Анализ результатов применения различных вариантов моделей однопионного обмена (в том числе и реджеванного), использовавшихся различными авторами до последнего времени^{/32/}, показывает, что все эти варианты работают в той или иной степени избирательно, то есть в определенной области фазового объема или для данного конкретного эксперимента с определенным набором параметров. При переходе же к другой области энергий приходится вновь подбирать параметры. Недавно К.Г.Боросковым, Б.А.Кайдаловым и Л.А.Пономаревым была предложена OPEP-модель, которая позволила целую совокупность экспериментальных данных описать как качественно, так и количественно с одним набором параметров и одним и тем же формфактором. Были описаны реакции $p p \rightarrow p \rho \Pi^+ /33/$, $p \rightarrow p \rho \Pi^- /34/$, $\Pi^- p \rightarrow \rho \Pi^+ \Pi^- /35/$. Удалось провести анализ множественного рождения в $\Pi\Pi$ -столкновениях и дать качественную картину инклюзивных спектров в $p p$ - и Πp -столкновениях^{/36,37/}.

Кроме того, были описаны отдельные распределения для реакций с рождением двух пионов в $p p$ - и Πp -столкновениях и энергетический ход сечения этих реакций в интервале от 4 до 28 ГэВ/с^{/38/}.

Эти обстоятельства побудили диссертанта провести детальное сравнение результатов экспериментального исследования реакции $\Pi^-p \rightarrow p \Pi^+ \Pi^- \Pi^-$ с помощью OPEP модели - ее последнего варианта^{/38,40/}, несколько отличного от варианта, рассматривавшегося в^{/38/}.

В этом варианте модели матричный элемент имеет вид (например, для диаграммы с изобарной вершиной Δ^{++})

$$M_a = \frac{1}{t-\mu^2} F_2(t, s_1, s_2, \dots) T_{\pi^-\pi^-}(s_1, t_2, t) T_{\pi^+\rho}(s_2, t_2, t).$$

F_2 - формфактор, учитывающий сход с массовой поверхности

$$F_2 = \exp\left\{ [R_2^2 + d'_\pi \ln\left(\frac{s}{s_0} \frac{x_1^2}{s_1} \frac{x_2^2}{s_2}\right)] (t - \mu^2) \right\},$$

$$x_1^2 = q_{31}^2 + \mu^2 - c(t - \mu^2), \quad x_2^2 = q_{41}^2 + \mu^2 - c(t - \mu^2).$$

$T_{\pi^-\pi^-}$ - $T_{\pi^+\rho}$ - амплитуды $\pi^-\pi^-$ и $\pi^+\rho$ -рассеяния вне массовой поверхности, содержащие дополнительную зависимость вклада вакуумных полюсов от t . Учтена также зависимость от t в амплитуде

R-волны $\pi^-\pi^-$ -рассеяния в виде

$$T_{\pi^-\pi^-}^{e=1}(s, t, t) = T_{\pi^-\pi^-}^{e=1}(s, t, \mu^2) \frac{Q(s, t, t)}{Q(s, t, \mu^2)} \frac{(1 + c\rho)}{(1 + c\rho \frac{Q(s, t, t)}{Q(s, t, \mu^2)})},$$

где Q - модуль трехмерного импульса в системе покоя 2-х пионов.

Свободные параметры модели были определены одним из авторов рассматриваемой модели, Д.А. Пономаревым, в работе^{/39/} при описании реакции $\rho\rho \rightarrow \rho\rho \pi^+\pi^-$ и оказались равными $R_2^2 = 0,8 \text{ ГэВ}^{-2}$,

$$R_\rho = 1,3 \text{ ГэВ}^{-2}, \quad C = 0,08 \text{ при } d'_\pi = 0,7 \text{ ГэВ}^{-2}.$$

В нашем случае оказался лишь один свободный параметр $C\rho$ в формуле зависимости R-волновой амплитуды $\pi^-\pi^-$ -рассеяния, который был выбран из условий лучшего согласия с экспериментом при 5 ГэВ/с равным 0,7 и сохранял это значение во всех расчетах.

Результаты описания реакции $\pi^-\rho \rightarrow \rho\pi^+\pi^-\pi^-$.

1. Рассчитан ход сечения данной реакции с энергией пучка от 2 до 205 ГэВ/с, рис.6, качественно модель хорошо описывает экспериментальный ход сечения. Систематическая нехватка в сечении (около 15-20% при 5 ГэВ/с) может быть в значительной мере понята, если учесть, что модель не описывает рождения A2-мезона.

2. Как при 5, так и при 16 ГэВ/с модель хорошо описывает набор распределений эффективных масс, рис.7, в особенности, если добавить вклад от рождения A2-мезона с сечением 140 мкбарн (кривые при 5 ГэВ/с). Интересно отметить, что модель хорошо описывает в распределении $M_{3\pi}$ область масс A1-мезона как декк-эффект от рождения ρ_0 -мезона.

3. При 5 ГэВ/с удовлетворительно описываются распределения по t .

4. При описании распределений по $P_{//}$ модель, если добавить эффект от рождения A2-мезона, также хорошо описывает распределения для всех частиц.

5. В целом с данным набором параметров модель описывает не менее 80% полного сечения исследованной реакции. Некоторые систематические отклонения уменьшаются, если добавить эффект от рождения A2-мезона. Возможно, что необходимо учесть еще эффекты вклада диаграмм с другим обменом, дающих малый вклад в сечение.

6. Анализ экспериментальных угловых распределений в вершине, где рождается ρ_0 -мезон и Δ^{++} -изобара, рис.8, показывает, что модель хорошо описывает эти распределения: асимметрия в распределениях по углу Треймана-Янга объясняется вкладом фоновых комбинаций, воспроизводится асимметрия в распределении по косинусу полярного угла для ρ_0 -мезона и асимметрия в распределении по косинусу полярного угла для Δ^{++} изобары, которые являются также результатом влияния фона.

В главе тринадцатой рассматривается вопрос об экспериментальном исследовании размеров области неупругого $\pi^-\rho$ -взаимодействия и зависимость этой величины от энергии - вопрос, который начал физиков волновать со времен введения потенциала Юкавы^{/41/}, из которого следует, что характерный размер области ядерного взаимодействия составляет величину $\hbar / \mu c^2 = \sqrt{2} \text{ ф.}$

Описание экспериментальных данных по упругому рассеянию пионов нуклонами и нуклонов нуклонами с помощью оптической модели давало величину радиуса нуклона порядка $0,8 \times 10^{-13}$ см. Исследование свойств неупругих процессов при высоких энергиях, исследование процессов рассеяния электронов нуклонами и т.п. привели ряд авторов (например Истрова, Блохинцева, Барашенкова^{/42/}) к заключению, что нуклон может обладать сложной структурой, имеющей "кern" и "периферию". Отсюда непосредственно следовало, что неупругие процессы должны разыгрываться на меньших расстояниях, чем упругие. Однако ввиду сложности описания неупругих процессов решение вопроса о размерах области неупругого взаимодействия встречается и по сей день серьезные трудности.

Диссертанту с коллегами^{/8/} удалось в 1959 г. по методу, подсказанному Д.И.Блохинцевым, оценить нижнюю границу области неупругого взаимодействия отрицательных пионов с нуклонами при импульсе 7 ГэВ/с, которая оказалась равной $\sim 0,4$ ф. Для оценки использовалось соотношение неопределенности.

Сравнительно недавно А.А.Логуновым, М.А.Мествиришвили, Нгуен Ван Хау и О.А.Хрусталевым^{/43/} был указан другой метод, не зависящий от конкретных моделей. Было показано, что для упругого рассеяния можно получить соотношение

$$R_{el} \geq \left(\frac{1}{\sigma_{el}} \left[\frac{d\sigma_{el}}{dt} \right]_{t=0} \right)^{1/2},$$

где в правой части стоят экспериментально измеренные величины.

В работе^{/44/} была доказана аналитичность дифференциального сечения для неупругих процессов по переменной $\cos(\theta)$, что позволило получить авторам^{/43/} весьма простую формулу для оценки нижней границы радиуса неупругого процесса:

$$R_{inel}^2 \geq \frac{1}{2k^2 \delta_{inel}} \left. \frac{d\sigma_{inel}}{d\cos\theta} \right|_{\theta=0}.$$

Применяя эти формулы, диссертант, используя результаты измерений угловых распределений нуклонов при 5 ГэВ/с^{/27/}, а также данные других работ^{/45/}, исследовал зависимость $R_{el}^{мин}$ от импульса налетающей частицы и от множественности образования мезонов^{/46/} (см. рис.9).

Основные результаты работы кратко можно сформулировать следующим образом.

1. Под руководством и при непосредственном участии диссертанта спроектирована, налажена и пущена в эксплуатацию установка со 100-сантиметровой водородной пузырьковой камерой в магнитном поле с рабочим объемом $950 \times 300 \times 350$ мм³.

Разработаны, созданы и налажены электронные устройства управления установкой с учетом взрывоопасных условий ее эксплуатации, а также устройства управления пучком с помощью системы дозирования.

В процессе проектирования установки:

а) выбран магнит, определен тип камеры и сформулированы требования к ее динамическим характеристикам и материалам, из которых изготавливаются детали камеры;

б) выбрана система фотографирования четырьмя объективами с автоколлимационной системой освещения с растром из призм полного внутреннего отражения, примененного в ВПК-100 впервые;

в) путем расчетов и из анализа экспериментальных данных показано, что ожидаемые точности измерений импульсов частиц и углов при энергии пучка 5 ГэВ близки к оптимальным;

г) предложена новая система уплотнения холодного стекла камеры.

В процессе создания установки проведены как поузловые, так и комплексные испытания установки и систем управления, позволившие осуществить комплексный запуск сразу на жидком водороде.

2. Экспериментально исследованы точности измерений в ВПК-100. На основе измерений магнитного поля и анализа значения массы K_0 -мезона, полученного по измерениям на снимках с ВПК-100 ($M_{K_0} = 0,4973 \pm 0,0004$ ГэВ), показано, что систематических сдвигов, обусловленных неточностью определения топологии магнитного поля и другими причинами (превышающих 0,2%), не имеется.

Тремя способами (по измерениям на реальных снимках с ВПК-100) определена пространственная разрешающая способность установки при измерениях на ПУОС-10, оказавшаяся не ниже 70 мкм (в плоскости наводки).

Определено разрешение эффективных масс для различных их интервалов, которое соответствует мировому уровню точностей для водородных пузырьковых камер.

3. С помощью системы программ *PRIT*, *THRESH*, *GRIND* на ЭВМ СДС-1604А налажена поточная обработка событий. Система усовершенствована за счет введения в нее целого ряда вспомогательных программ. Параллельное использование двух ЭВМ, СДС-1604А и СДС-160, позволило получить при обработке событий с ВПК-100 экономию времени основной машины СДС-1604А в полтора раза. Указанная система в комплексном эксплуатационном режиме запущена в ОИЯИ впервые при обработке событий в первом эксперименте с ВПК-100.

4. Проведен первый эксперимент с ВПК-100 в пучке π^- -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с. Исследованы общие характеристики каналов реакций с 6 и 4 заряженными частицами в конечном состоянии. Определена асимметрия заряженных частиц, определены средние значения P_1 , определены сечения рождения резонансов в 4-лучевых событиях. На основе общих характеристик и анализа в пространстве продольных импульсов по-

казано, что при 5 ГэВ/с около 80% реакции $\pi^- p \rightarrow \rho^+ \pi^+ \pi^-$ идет через каналы $\pi^- p \rightarrow \Delta^{++} \pi^+ \pi^-$ и $\pi^- p \rightarrow \rho^0 \pi^+ \pi^-$.

5. Реакция $\pi^- p \rightarrow \rho^+ \pi^+ \pi^-$ проанализирована с помощью *OPER*-модели Бороскова, Кайдалова, Пономарева.

Показано, что ход полного сечения этой реакции в интервале импульсов пучка отрицательных пионов (2-205) ГэВ/с удовлетворительно описывается этой моделью с набором параметров, подобранных для описания реакции $pp \rightarrow \rho^+ \pi^+ \pi^-$. Модель удовлетворительно описывает: распределения эффективных масс, в том числе область A_1 как декк-эффект на ρ_0 -мезоне при 5 и при 16 ГэВ/с, распределения по квадрату переданного четырех-импульса комбинациям $\pi^+ \pi^-$ и $\pi^+ \pi^+$, распределения углов Треймана - Янга и по косинусу полярного угла в системах покоя $\pi^+ \pi^-$ и ρ^+ в области масс ρ_0 - и Δ^{++} -резонансов.

6. По методу Логанова, Нгуена Ван Хэу и др. исследована зависимость нижней границы эффективного радиуса неупругого $\pi^- p$ -взаимодействия для каналов реакций с различной множественностью. Показано, что при данной множественности $R_{\text{эфф}}^{\text{мин}}$ возрастает в области импульсов пучка 3-16 ГэВ/с и убывает быстро с ростом множественности. Значение $R_{\text{эфф}}^{\text{мин}}$, полученное в данной работе, согласуется с полученной ранее из соотношения неопределенности величиной для $\pi^- p$ -взаимодействий при 7 ГэВ/с.

7. К настоящему времени на установке с ВПК-100 выполнено три эксперимента: 1) эксперимент, описанный в настоящей диссертации (500 000 фотографий), *dp* - эксперимент при импульсе 3,3 ГэВ/с (180 000 фотографий), *np* - эксперимент (200 000 фотографий). Эксперименты выполняются и обрабатываются различными группами физиков как в ОИЯИ, так и в лабораториях стран-участниц ОИЯИ.

Большинство результатов, изложенных в диссертации, получены впервые. Основные результаты представлялись на Международные конференции в Рочестере (1963), Батавии (1972), Дубне (1969) и опубликованы в работах /2,5,6,9,10,15-20,22,24-29/, в том числе в описании к авторскому свидетельству /15/.

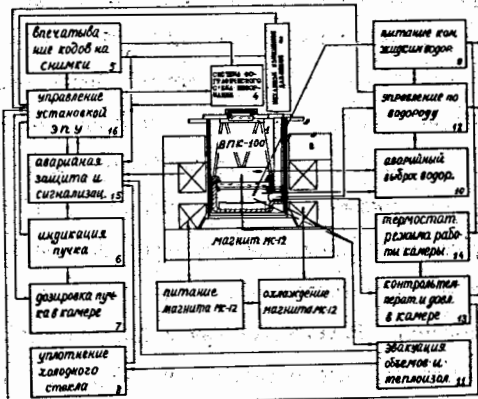


Рис.1. Блок-схема установки с ВПК-100.

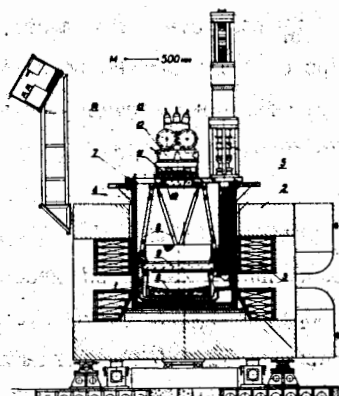


Рис.2. Общий вид ВПК-100.

1. Корпус камеры
2. Магнит МС-12
3. Обмотки магнита
4. Дверь камеры
5. Механизм расшир.
6. Растр из призм
7. Крышка дюзера
8. Подвеска камеры
9. Стекло холодное
10. Защитное стекло
11. Стекло дюзера
12. Фотоаппарат
13. Осветитель
14. Кодиров. табло

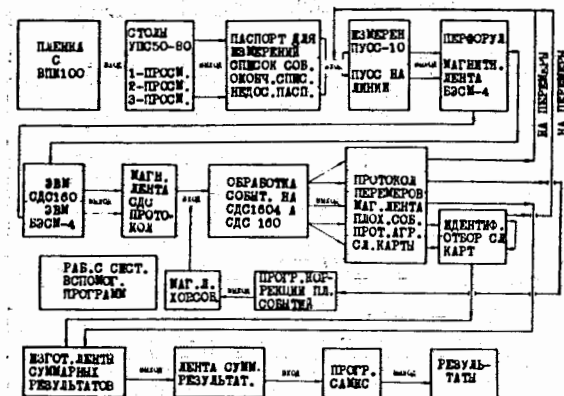


Рис.3а

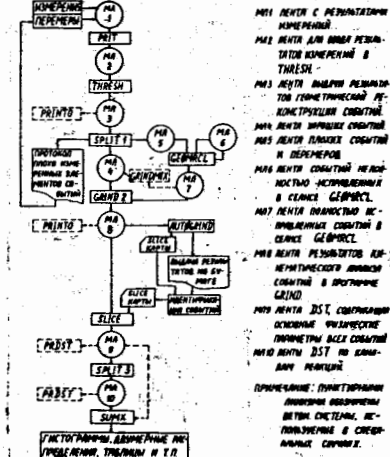


Рис.3б

Рис 3а,б. Полная схема обработки событий ; схема обработки событий по системе программ.

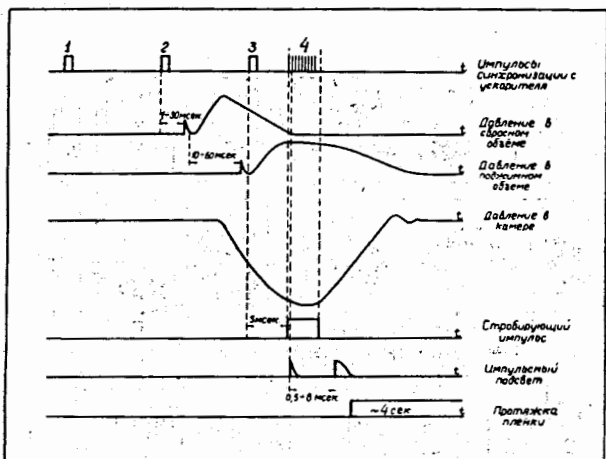


Рис. 4а. Временная диаграмма работы систем ВПК-100.

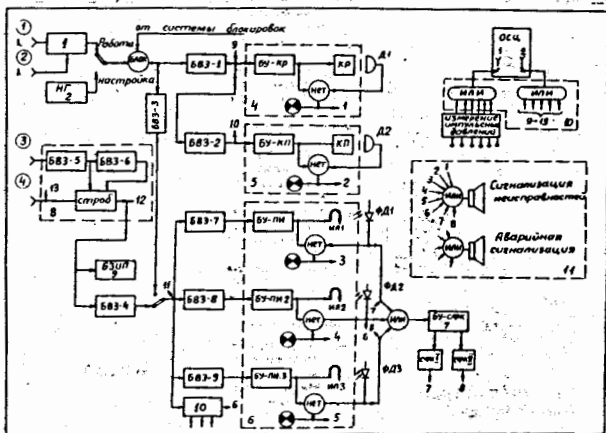


Рис. 4б. Блок-схема управления-функциональная.



Рис. 5. Загрузка пучка в камере а/без дозировки,

б/с дозировкой.

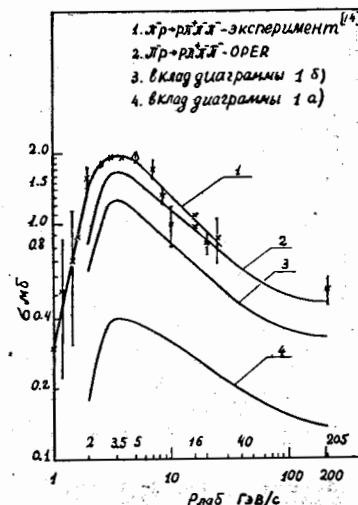


Рис. 6. Полное сечение реакции.

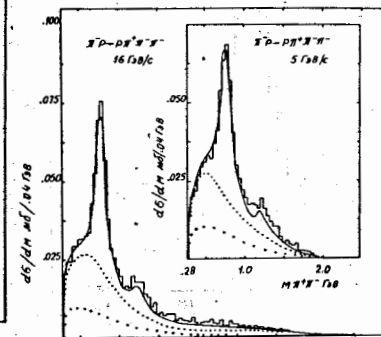


Рис. 7а. — расчеты, модель OPER. фоновые, комб. модель.

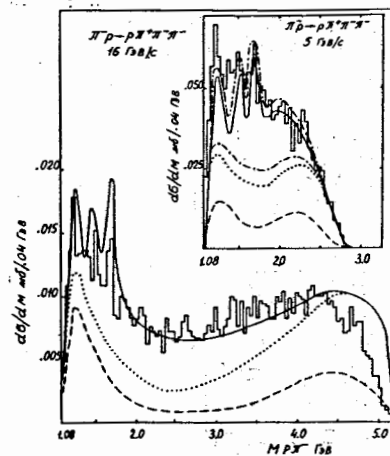


Рис. 7б. — расчеты, модель OPER. фоновые комб. модель. добавлен А2-мезон, 140 мкбарн.

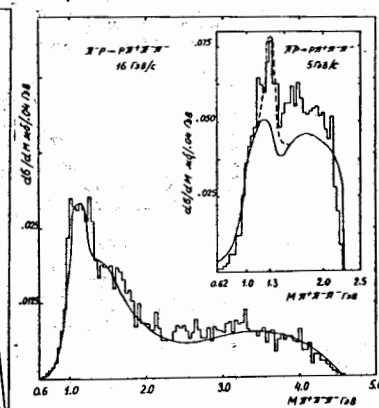


Рис. 7в. — расчеты, модель OPER. А2-мезон, 140 мкбарн.

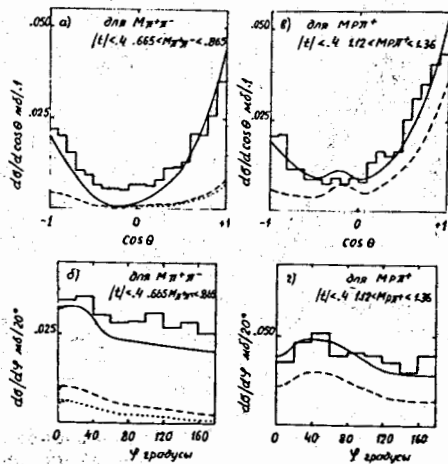
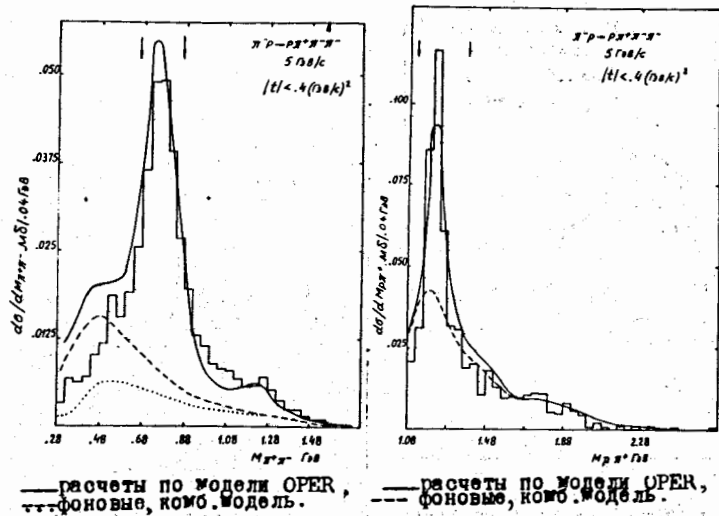


Рис. 8. — расчеты по модели OPER,
 --- фоновые комбинации, модель.

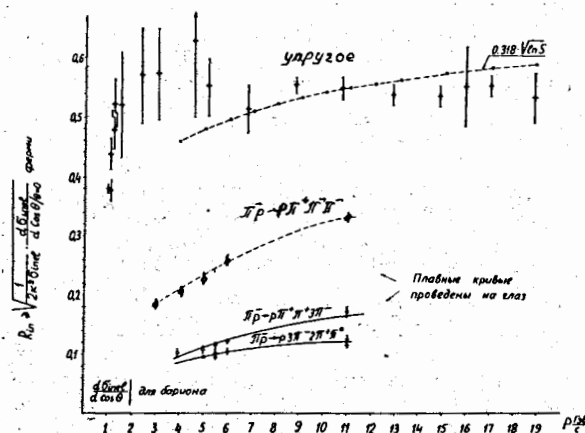


Рис. 9а. Зависимость нижней границы эффективного радиуса неупругого взаимодействия от числа пучка для различных каналов реакции.

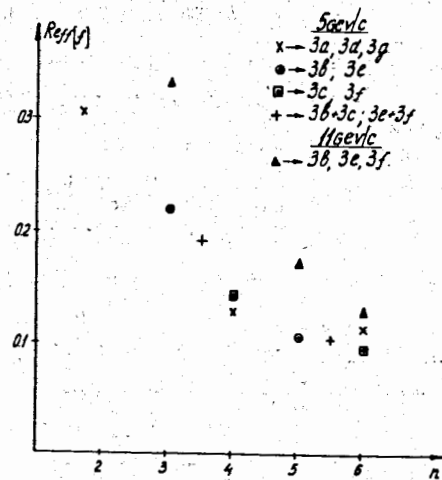


Рис. 9б. Зависимость R_{min} от множественности n / $3a/n\pi^+\pi^-$, $3b/n\pi^+\pi^0\pi^-$, $3c/n\pi^+\pi^+\pi^-$, $3d/n\pi^+\pi^+\pi^0\pi^-$, $3e/n\pi^+\pi^+\pi^+\pi^-$, $3f/n\pi^+\pi^+\pi^+\pi^0\pi^-$, $3g/n\pi^+\pi^+\pi^+\pi^+\pi^-$.

Литература

1. В.В.Глаголев, П.Зелински, А.Д.Кириллов, Л.Н.Комолов, В.И.Котов, В.А.Кузнецов, Р.М.Лебедев и др. Сообщение ОИЯИ, 1-6372, Дубна, 1972.
2. V.V.Glagolev, V.N.Emelianenko, L.I.Juravleva, R.M.LebedeV at al. Intern.Conf.on High Energy Physics, 15, Kiev, 1970, V.I, Abstract, 115.
3. В.В.Глаголев, П.Зелински, Р.М.Лебедев и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6714, Дубна, 1972.
4. CERN COURIER, No.9, Vol.13, September, 1973, p.265.
5. A.V.Belonogov, ... R.M.LebedeV, at al. Nucl.Instr.& Meth., 20, (1963), p.114.
6. В.В.Глаголев, В.Н.Емельяненко, Р.М.Лебедев и др. Сообщение ОИЯИ 13-5930, Дубна, 1971.
7. А.В.Белоногов, Е.И.Дьячков, А.Г.Зельдович и др. Препринт ОИЯИ 2254, Дубна, 1965.
8. В.А.Беляков, Ван Шу-фень и др. Препринт ОИЯИ, Р-530, Дубна, 1960.
9. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3031, Дубна, 1966.
10. В.В.Глаголев, В.М.Горбунков, Р.М.Лебедев. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер, Дубна, 1969, 82. ОИЯИ, 13-4466
11. Е.И.Дьячков, Р.М.Лебедев, Ю.А.Шипов. Депонированная публикация ОИЯИ БЗ-2481, Дубна, 1965.
12. Е.И.Дьячков, авторское свидетельство № 153486. Бюллетень изобретений и товарных знаков № 6, 1963.
13. Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц. Депонированная публикация ОИЯИ Б4-2801, Дубна, 1966.
14. М.Малы. Авторское свидетельство №158030. Бюл.изобр. №20, 1963.
15. Р.М.Лебедев, И.С.Сайтов и др. Авторское свидетельство №164083, Бюллетень изобретений, №14, 1964.
16. В.В.Глаголев, Р.М.Лебедев и др. Сообщение ОИЯИ 13-5932, Дубна, 1971.
17. В.Глаголев, А.Гулжин и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3633, Дубна, 1967; ИТЭ, № 3, 1968, 225.
18. Т.Беспалова, Н.Борисов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3455, Дубна, 1967.
19. В.В.Глаголев, Е.И.Дьячков и др. Сообщение ОИЯИ, 1-4847, Дубна, 1969; М.Вальтер, В.В.Глаголев и др. Сообщение ОИЯИ, 1-7153, Дубна, 1973.
20. В.Глаголев, Э.Козубский и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3422, Дубна, 1967.
21. В.В.Ермолаев, Э.М.Иванченко и др. Международн. симпозиум по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. ОИЯИ Д10-6142, стр. 342, Дубна, 1972.
22. Н.Г.Борисов, С.Вискочил, А.М.Кашехлебов, Р.М.Лебедев и др. Сообщение ОИЯИ, 10-5632, Дубна, 1971.

23. Н.А.Буздавина, П.Бухгольц, Н.Н.Говорун и др. Препринт ОИЯИ, Р11-4762, Дубна, 1969.
24. А.Г.Заикина, Х.Кауфман и др. Сообщение ОИЯИ 10-6368, Дубна, 1972.
25. См. ссылку 2.
26. Х.Бетхер, Ю.Главачева и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6846, Дубна, 1972.
27. В.В.Глаголев, А.Константинеску и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6845, Дубна, 1972.
28. U.Gensch, K.Lanius, .. R.M.LebedeV, at al. Nucl. Phys., 53, I, p.53 (1973)
29. Л.Абессалашвили, К.Шпиринг и др. Препринт ОИЯИ, Р1-7027, Дубна, 1973.
30. CERN/TC/ LIBRARY (FIWL) .:
31. L.Van Hove. Phys. Lett. 28B, 429 (1966).
32. И.М.Дремин, Д.С.Чернавский. ЖЭТФ 38, 229, 1960; G.Wolf. Phys. Rev. 182, p.1538, 1969; E.L.Berger. Phys. Rev. Lett. 21, p.701, 1969; Г.В.Бекетов, В.Е.Гречко и др. Препринт ИТЭФ-68, Москва, 1973.
33. К.Г.Боресков и др. ЯФ, 15, стр.361, 1972.
34. К.Г.Боресков и др. ЯФ, 15, стр. 1285, 1972.
36. К.Г.Боресков и др. Препринт ИТЭФ, Москва, 1972, № 950.
37. К.Г.Боресков и др. Препринт ИТЭФ-92, Москва, 1973.
38. K.G.Bogezkov at al. Preprint ИТЭФ, 43, Москва, 1973.
39. Л.Пономарев, XIV Междунар. симпоз. по физ. элем. частиц высоких энерг. ОИЯИ, Варна, 1974 (Доклад) ОИЯИ, Д1, 2-8405, Дубна, 1975.
40. К.Г.Боресков, В.В.Глаголев..., Р.М.Лебедев и др. Препринты ОИЯИ Р1-8164, Р1-8163, Дубна, 1974. Доложено на XIV Межд. симп. по физ. элем. частиц высоких энергий. ОИЯИ, Варна, 1974. ОИЯИ, Д1, 2-8405, Дубна, 1975.
41. N.Yukava. Proc. Phys-math. Soc. Japan, 17, 48, 1935;
42. R.Jastrov. Phys. Rev., 81, 165 (1951). Д.И.Блохинцев. ЖЭТФ, 29, 33 (1955); см. также Д.И.Блохинцев, В.С.Барашенков, Б.М.Барбашов. Сообщение ОИЯИ Р-317, Дубна, 1959.
43. А.А.Логунов, Нгуен Ван Хьеу. Препринт ИФВЭ, СТФ-69-4, Серпухов, 1969.
44. M.Froissart. Phys. Rev., 123, 1053 (1961); А.А.Логунов, Нгуен Ван Хьеу. Препринт ОИЯИ, Р2-4050, Дубна, 1968.
45. В.В.Глаголев, А.Константинеску и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6845, Дубна, 1972. См. ссылки № 2+10, 15.

46. Методика определения по угловым распределениям ($d\epsilon/d\cos\theta/\cos\theta=0$) была разработана В.Н.Емельяненко /45/.

47. Ю.А.Александров, Г.С.Воронов, В.М.Горбунков и др. Пузырьковые камеры. Госатомиздат, Москва, 1963, стр.187, формула (69.4).

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1974 года.