

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**И-756**

**УДК 539.1.074.4: 539.128.417**

**1-85-308**

**ЙОРДАНОВ  
Ангел Борисов**

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМ  
ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ ДЕТЕКТОРОВ  
И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
БИНАРНЫХ И ИНКЛЮЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

**Дубна 1985**

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна

Научные руководители:

член-корреспондент АН СССР  
профессор

В.П.Джелепов

доктор физико-математических наук  
профессор

Ю.А.Будагов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

С.М.Коренченко

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Г.И.Мерзон

Будущее научно-исследовательское учреждение: Институт  
теоретической и экспериментальной физики, г.Москва.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1985 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного Совета Д-047.01.03  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных  
исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1985 г.

Ученый секретарь специализированного Совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Экспериментальное исследование процессов рассеяния псевдоскалярных мезонов на нуклонах с обменом гиперзарядом является актуальным и стимулируется возможностью их сравнительно простой интерпретации в рамках различных теоретических подходов, развитых преимущественно на основе реджевской феноменологии, а в последнее время - в рамках квантовой хромодинамики.

Тесная взаимосвязь этих реакций с упругими и зарядовообменными процессами, разнообразие начальных и конечных состояний позволяют охватить при их изучении значительный диапазон явлений, отражающих динамику взаимодействия адронов.

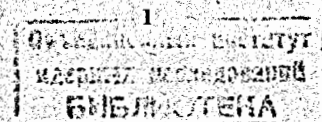
Столь же актуальны исследования инклюзивных взаимодействий частиц различного кваркового состава с ядрами, так как в этих экспериментах могут быть получены сведения принципиального значения о закономерностях рассеяния партонов и формирования адронов.

Для изучения вышеуказанных процессов создан действующий на I8 канале серпуховского ускорителя спектрометрический комплекс ГИПЕРОН. Разработка и внедрение в его состав высокоэффективных проволочных, сцинтилляционных и черенковских детекторов обеспечили достоверную идентификацию частиц и высокие точности измерения их кинематических параметров, что сделало возможной реализацию намеченной программы исследований.

Цель работы - разработать и создать на основе оригинальных элементов системы широкоапертурных одно- и многоканальных черенковских детекторов; исследовать в пучках частиц их физические характеристики и достигнуть значений этих характеристик, требуемых экспериментом; внедрить детекторы в физические эксперименты с тем, чтобы:

а) выделить процесс  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  и получить новые точные данные об его дифференциальном сечении;

б) получить предварительные данные о возможности выделения инклюзивных процессов образования  $K^0$ -,  $K^{*0}$ -,  $\phi$ -мезонов в  $K^+$ -ядерных взаимодействиях при 12 ГэВ/с.



Научная новизна. Созданы не имеющие прямых аналогов системы одно- и многоканальных широкопертурных черенковских детекторов. По совокупности достигнутых значений ряда существенных параметров (апертура, эффективность регистрации и разрешение по скорости, количество вещества на пути частиц) детекторы находятся на уровне лучших устройств подобного типа. Новизна идей при создании детекторов защищена авторским свидетельством на изобретение (СССР - № 710820). Созданные детекторы, являясь принципиально необходимым узлом спектрометра, в сочетании с остальными детекторами дали возможность на большом фоне выделить реакцию  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  и получить новые точные данные об ее дифференциальном сечении в области переданных импульсов  $0 < |t'| < 0,8$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>,  $t' = t - t_{min}$ . Измерения вблизи  $t_{min}$  относятся к числу двух самых точных среди ныне известных исследований указанных процессов.

Практическая ценность работы заключается в успешном внедрении систем разработанных детекторов в завершённые исследования реакции с обменом гиперзарядом, которые в силу своей высокой статистической обеспеченности могут быть использованы для уточнения и развития различных теоретических моделей и единого описания бинарных процессов. На установке ГИПЕРОН начала осуществляться широкая программа изучения инклюзивного образования  $K^0$ -,  $K^{*0}$ -,  $\phi$ -мезонов, основу которой заложила созданная система многоканальных счетчиков и данные обработки результатов предварительных экспериментов. Разработанная новая технология изготовления тонких фокусирующих зеркал большого диаметра признана и широко применяется при создании черенковских детекторов в других научных группах.

Автор защищает:

1) результаты разработки, создания и экспериментального изучения одно- и многоканальных широкопертурных черенковских детекторов, которые по совокупности достигнутых значений основных параметров обеспечивают проведение широкой программы исследования бинарных и инклюзивных процессов;

2) результаты внедрения и применения созданного комплекса черенковских детекторов, выразившиеся:

а) в эффективном выделении реакции  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  и измерении ее дифференциального сечения в интервале  $0 < |t'| < 0,8$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> путем анализа спектра недостающих масс к вылетающему вперед (в направлении пучка) каону;

б) в выводе о возможности выделения и исследования на спектрометре инклюзивных процессов  $K^+A \rightarrow K^0, K^{*0}, \phi + \dots$

Апробация работ. Основные материалы диссертации докладывались на сессиях Ученого Совета ОИЯИ, совещаниях сотрудничества ГИПЕРОН, научных семинарах в ОИЯИ и на XII Международной конференции по физике высоких энергий в Лейпциге (ГДР, 1984 г.).

Публикации. В диссертации обобщены результаты работ, выполненных автором в 1976-1985 гг. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, г.Дубна.

По этим результатам опубликовано 8 работ, получено одно авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, приложения и заключения, в котором сформулированы основные выводы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель работы, отмечена ее новизна и практическая ценность, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава является общим описанием расположенного на I8 канале серпуховского ускорителя спектрометрического комплекса ГИПЕРОН /1/, в составе которого работают созданные при участии автора детекторы. Установка состоит из независимых систем детекторов частиц, позволяющих видоизменять конфигурацию и состав аппаратуры в соответствии с требованиями проводимых экспериментов. По функциональному назначению она может быть разделена на три основные части:

- пучковый спектрометр, служащий для идентификации частиц пучка и измерений их импульсов;
- мишень с окружающими ее детекторами;
- спектрометр вторичных частиц, позволяющий идентифицировать эти частицы и измерять их импульсы и углы вылета из мишени.

Состав первичного пучка зависит от импульса выведенных частиц и при II ГэВ/с включает  $\sim 40\%$   $\pi^+$ -мезонов, 6-7%  $K^+$ -мезонов, около 50% протонов и 1-2% мюнов и позитронов.

Для идентификации пучковых частиц используются четыре газовых пороговых черенковских счетчика диаметром  $\phi = 120$  мм и общей длиной  $\sim 20$  м. Характерное их разрешение по скорости  $\Delta\beta/\beta = 10^{-4}/L$  (м). Высокая точность измерения импульса пучковых частиц обеспечивается электромагнитом СР-129 ( $\Delta N/N \sim 0,1\%$ ) и системой пропорциональных камер (16 плоскостей).

На рис.1 показана схема спектрометра вторичных частиц при изучении реакции с обменом гиперзарядом  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ .

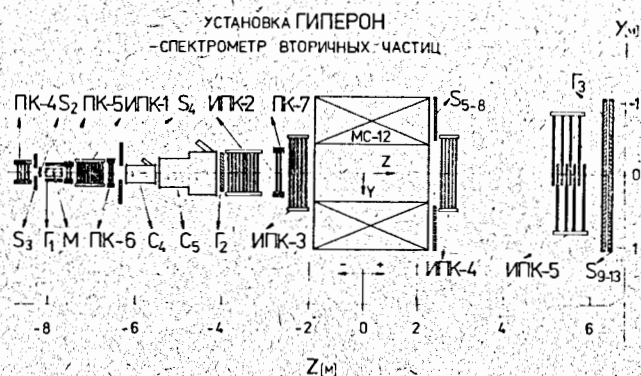


Рис.1. Установка ГИПЕРОН - спектрометр вторичных частиц. ИПК - искровые проволочные камеры, ПК - пропорциональные камеры; S, Г - сцинтилляционные счетчики и годоскопы; C<sub>4,5</sub> - черенковские счетчики; MC-12 - анализирующий электромагнит; М - мишень.

Вторичные частицы идентифицируются созданными нами широкоапертурными одно- и многоканальными черенковскими детекторами. Эти частицы анализируются по импульсам с помощью модифицированного нами электромагнита MC-12 с объемом магнитного поля 500x800x2000 мм<sup>3</sup> и индукцией в центре  $B = 1,6$  Т. Основными координатными детекторами спектрометра вторичных частиц являются искровые и пропорциональные проволочные камеры.

Для улучшения временного разрешения установки используются годоскопические сцинтилляционные счетчики S и Г.

Вся система детекторов включена "в линию" с ЭВМ ЕС-1010, осуществляющей прием, контроль и запись на магнитную ленту информации о регистрируемых событиях, контроль стабильности работы отдельных узлов и установки в целом. Окончательная обработка накопленных данных проведена на базовых ЭВМ ОИЯИ ЕС-1060, СДС-6500, ЕС-1040.

Достигнутые точности измерения импульса  $p_1$  первичных и  $p_2$  вторичных частиц ( $\Delta p_1/p_1 = \pm 0,35\%$ ,  $\Delta p_2/p_2 = \pm 0,45\%$ ), углов ( $\Delta \theta = \pm 0,3$  мрад.) и разрешения по скорости  $\Delta \beta/\beta \approx 10^{-5}$  дали возможность надежно выделять и изучать бинарные и инклизивные процессы методами недостающих и эффективных масс.

Вторая глава содержит описание конструкции и полученных в опытах на пучке частиц основных характеристик широкоапертурных одноканальных газовых пороговых черенковских счетчиков, необходимых для исследования процессов  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ . Рассмотрены факторы, определяющие выбор основных элементов, отмечены преимущества сделанного выбора. Выделение указанных реакций в широком интервале переданных импульсов на большом фоне других процессов производилось путем идентификации  $K^+$ -мезонов и анализа спектра "недостающих масс". Указанный метод накладывает особо высокие требования на точность измерения импульсов  $P^+$ - и  $K^+$ -мезонов и уровень их разделения. В связи с этим при создании детекторов особое внимание было обращено на достижение: высокой ( $\sim 0,9999$ ) и не зависящей от угла влета частиц эффективности их регистрации в угловом интервале  $\pm 3,5^\circ$  по горизонтали и  $\pm 1,5^\circ$  по вертикали; минимального количества вещества на пути частиц ( $< 0,15$  г/см<sup>2</sup>).

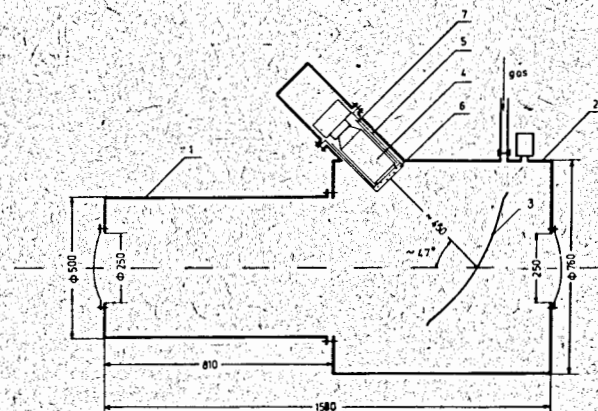


Рис.2. Схематическое изображение широкоапертурного черенковского счетчика C<sub>5</sub>.

На рис.2 показана конструкция одного из счетчиков /2/. Черенковское излучение фокусируется зеркалом (3) на катод фотоумножителя (4), расположенного в фокальной плоскости зеркала. Окно (6) из кварцевого стекла КУ-1 толщиной 20 мм отделяет ФЭУ ХР 2041/А от газового объема счетчика. При фиксированном угле наклона зеркала его можно двигать вдоль центральной оси счетчика в пределах  $\pm 50$  мм. Предусмотрена возможность изменения угла наклона в пределах  $\pm 6^\circ$ .

Описана разработанная нами новая технология изготовления тонких ( $< 0,13 \text{ г/см}^2$ ) фокусирующих зеркал большого диаметра  $^{1/3/}$ , являющихся одним из основных элементов газовых черенковских счетчиков.

Представлены результаты исследований, в которых определена оптимальная толщина отражающего алюминиевого покрытия зеркал (рис.3), обеспечивающая максимальное значение коэффициента отражения. Полученные при этом результаты использованы при создании описываемого в этой главе счетчика  $C_4^{1/4/}$ .

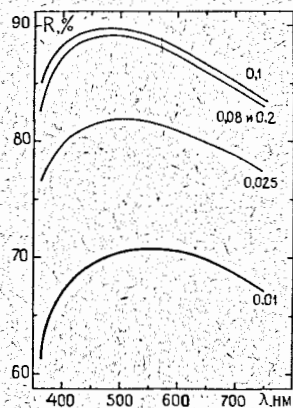


Рис.3. Коэффициент отражения алюминизированной лавсановой пленки в зависимости от длины волны  $\lambda$  и толщины покрытия в микронах (цифры около кривых).

Приводятся также полученные методом Монте-Карло результаты расчетов  $^{1/5/}$ , иллюстрирующие возможность применения созданных счетчиков в дифференциально-пороговом режиме.

Исследование физических характеристик детекторов выполнено на 18 канале серпуховского ускорителя в условиях проведения реального эксперимента. При испытан

иях использовались сцинтиляционные и черенковские детекторы, а также электронная аппаратура и ЭВМ ЕС-1010, входящие в состав установки ГИПЕРОН, которые давали возможность: анализировать амплитуды импульсов на выходе ФЭУ, определять зависимость эффективности регистрации счетчика от давления газа-радиатора и от угла входа частиц в счетчик. В таблице I приведены некоторые характеристики описанных в главе II детекторов.

Таблица I. Характеристики широкоапертурных одноканальных детекторов.

Основные параметры	$C_4$	$C_5$
Рабочая площадь зеркала, $\text{см}^2$	706	2640
Длина радиатора, см	90	138
Количество вещества в пучке, $\text{г/см}^2$	0,15	0,15
Интегральная константа $N_0$ , $\text{см}^{-1}$	$95 \pm 1$	$103,8 \pm 6,4$
Разрешение по скорости $\Delta\beta/\beta \times 10^5$	$5,84 \pm 0,06$	$3,49 \pm 0,22$

Третья глава диссертации обобщает опыт разработки, изготовления и исследования широкоапертурных многоканальных газовых черенковских счетчиков, предназначенных для изучения инклюзивного образования векторных и псевдоскалярных мезонов ( $K^0, K^{*0}, \phi, \eta^0 \dots$ ) в адрон-нуклонных и адрон-ядерных взаимодействиях при энергиях 5-15 ГэВ, а также для поиска резонансов в системах  $\phi\pi, \phi K, \phi\phi$ .

Рассмотрены факторы, учитываемые при выборе размеров, числа каналов, режима работы и типа газа радиатора. Каждый счетчик состоит из нескольких конструктивно объединенных единичных счетчиков (каналов). Годоскопическая структура значительно расширяет возможность таких приборов.

На примере 8-канального черенковского счетчика  $^{1/6/}$  рассмотрены некоторые общие для созданных нами многоканальных детекторов конструкторские решения, способ их настройки и результаты исследования в пучках частиц. В герметическом, светонепроницаемом корпусе счетчика, имеющего размеры  $2,4 \times 2,2 \times 0,95 \text{ м}$ , расположены 8 зеркал с размерами  $760 \times 315 \text{ мм}^2$ , наклоненных под углом  $23^\circ$  к горизонтальной оси счетчика. Предусмотрены регулировка углов поворота каждого зеркала вокруг горизонтальной и вертикальной осей в пределах  $\pm 5^\circ$  и перемещение его вдоль пучка.

Для изготовления зеркал создана новая технология, близкая к описанной в § 3 гл. II, которая позволила получить прямоугольные фокусирующие зеркала. В качестве светоотражающего слоя зеркала использовалась алюминизированная лавсановая (полиэтилентерефталатная) пленка, а двухслойную основу зеркала формировали из эпоксидного компаунда К-115 и вспененного пенополиуретана. Черенковское излучение регистрируется фотоэлектронными умножителями XP 2041/Q.

Во время испытаний и набора статистики сигналы с каждого ФЭУ поступали на отдельный вход преобразователя "заряд-код", расположенного в кресте КАМАК, информация с которого считывалась в ЭВМ ЕС-1010. Характеристики счетчика изучались в пучках разных частиц ( $e, \mu, \pi$ ). Для всех каналов были получены амплитудные (зарядовые) распределения сигналов на выходе ФЭУ после прохождения частицы известного сорта. Среднее число фотоэлектронов ( $N_3$ ), выбитых черенковскими квантами с фотокатода, определялось аппроксимацией экспериментальных амплитудных спектров нормальным распределением с математическим ожиданием  $m$  и дисперсией  $\sigma^2$ .

$$N_3 = \frac{K}{K-1} \left( \frac{m - m_n}{\sigma} \right)^2,$$

где  $K$  - средний коэффициент вторичной эмиссии динодов ФЭУ;  $m_n$  - номер канала, соответствующего пьедесталу. На рис.4 приведены примеры

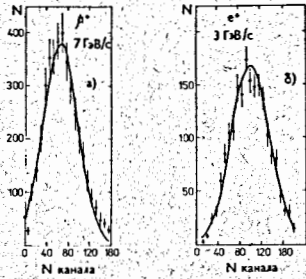


Рис.4. Спектры амплитуд импульсов на выходе ФЭУ при регистрации мюонов и позитронов.

таких распределений для мюонов с импульсами 7 ГэВ/с (а) и позитронов с импульсами 3 ГэВ/с (б).

Для каждого канала ( $i$ ) определены значения константы  $N_0^i$ , характеризующей интегрально свойства ФЭУ, газа и оптики канала.

Экспериментальные величины  $N_0^i$  находятся в интервале  $(80 \pm 100) \text{ см}^{-1}$ . Соответствующие разрешения каналов счетчика по скоростям  $\Delta \beta / \beta$  имеют значения  $(2,5 \pm 3,1) \cdot 10^{-5}$ . Для сравнения отметим, что широкоапертурные многоканальные счетчики подобного типа характеризуются величинами  $N_0$ , лежащими в интервале  $16-110 \text{ см}^{-1}$ .

Четвертая глава посвящена описанию ряда существенных результатов, достигнутых благодаря применению созданных систем черенковских детекторов при выделении и исследовании гиперзарядообменных процессов и инклюзивных реакций  $K^+A \rightarrow K^0, K^{*0}, \phi + X$ .

В первом параграфе представлены данные о типах и уровнях триггеров, использованных во время набора статистики по исследуемым процессам или при определении эффективности и разрешения установки. На рис. 1 и 9 показаны модификации спектрометра ГИПЕРОН при изучении бинарных и инклюзивных процессов. Приведена мотивировка включения в триггер соответствующих детекторов. Отмечается, что применяемый в исследовании реакций  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  способ их идентификации методом анализа недостающих масс к вылетающему вперед каону относится к числу весьма сложных методов экспериментальной физики и может быть реализован при достижении:

- надежной идентификации первичных  $\Pi^+$ -мезонов и вторичных  $K^+$ -мезонов;
- эффективного подавления фона, обязанного пионам первичного пучка или взаимодействиям  $\Pi$ -мезонов в мишени, которые имеют кинематику, схожую с кинематикой исследуемой реакции как, например,  $\Pi^+p \rightarrow \Pi^+p$  или  $\Pi^+p \rightarrow \Pi^+\Delta^+(1236)$ ;
- высокоточного измерения кинематических параметров заряженных частиц.

Созданные и описываемые в диссертации широкоапертурные одноканальные черенковские счетчики вместе с проволочными детекторами, входящими в состав спектрометра, полностью решили перечисленные выше проблемы. Этот вывод иллюстрируется приведенным на рис.5 спектром не-

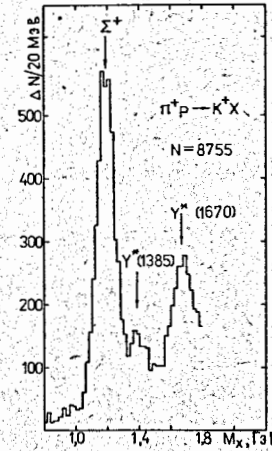
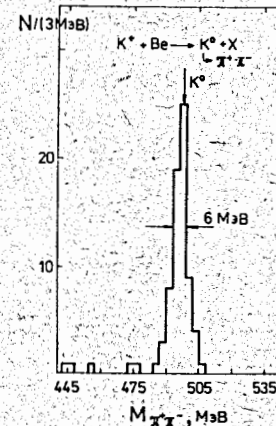


Рис.5. Спектр недостающих масс к вылетающему вперед каону в процессах  $\Pi^+p \rightarrow K^+X$ .

достающих масс  $M(X)$  для реакций  $\Pi^+p \rightarrow K^+X$ , отобранных с помощью включенных в триггер черенковских детекторов. Ясно выделены пики, отвечающие  $\Sigma^+$ - и  $\Sigma^+(1385)$ -гиперонам, что надежно идентифицирует бинарные процессы  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  и  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+(1385)$ . Особо отмечено практически полное отсутствие фоновых событий в окрестности массы протона (рис.5), свидетельствующее об устранении черенковскими счетчиками наиболее "тяжелого" фона от непрореагировавших в мишени пучковых пионов. Сравнение величины среднего квадратического отклонения,

характеризующей разрешение установки в области массы  $\Sigma^+$ -гиперона и равной  $\sigma_{\Sigma^+} = 56 \pm 2 \text{ МэВ} / \sqrt{N}$ , с соответствующими величинами, реализованными на других установках подобного типа, свидетельствует о достижении на спектрометре ГИПЕРОН весьма высоких точностей измерения кинематических параметров частиц. Это заключение подтверждается также представленным на рис.6 распределением эффективных масс двух адронов в гипотезе " $\Pi^+\Pi^-$ ": значение среднего квадратического отклонения этого распределения в области массы  $K^0$ -мезона составляет всего  $\sigma_{K^0} = 2,6 \pm 0,3 \text{ МэВ} / \sqrt{N}$ .

Рис.6. Распределение системы  $\Pi^+\Pi^-$  по эффективной массе.



Приведенные величины  $\sigma_{\Sigma^+}$ ,  $\sigma_{K^0}$  вместе с другими данными о точностях восстановления спектров недостающих и эффективных масс свидетельствуют о возможности проведения на спектрометре широкой программы исследований бинарных и инклюзивных процессов.

Во втором параграфе представлена часть результатов выполненного нами исследования процессов с обменом гиперзарядом при импульсе 12 ГэВ/с. Приведены экспериментальные результаты измерения дифферен-

циального сечения  $d\sigma/dt'$  реакции  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  и поляризации  $\Sigma^+$ -гиперонов ( $P_{\Sigma^+}$ ).

Особое внимание при наших измерениях было уделено области малых переданных импульсов  $|t'| < 0,1$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, в которой величины  $d\sigma/dt'$  были нами измерены в 9 интервалах с высокой статистической обеспеченностью. Общее количество триггеров, записанных на магнитные ленты, составило 375 тыс.

Как указывалось, выделение изучаемой реакции производилось методом анализа недостающей массы к  $K^+$ -мезону, а идентификация вторичных частиц обеспечивалась специально разработанными широкоапертурными черенковскими счетчиками.

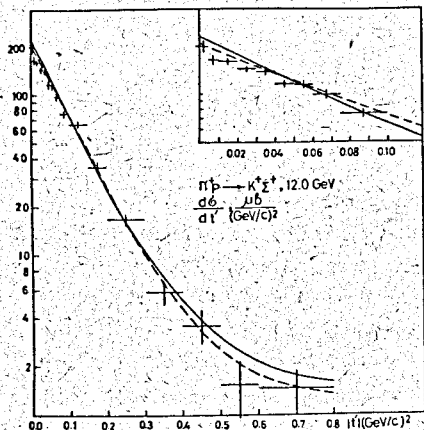


Рис.7. Дифференциальное сечение  $d\sigma/dt'$  реакции  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  при 12 ГэВ и предсказание моделей реджевского типа.

На рис.7 показано измеренное нами дифференциальное сечение процесса  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ . Погрешности указаны статистические. Систематическая погрешность измерения оценивается в  $\pm 10\%$ . Ход зависимости  $d\sigma/dt'$  приблизительно экспоненциальный в области  $|t'| < 0,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>; заметно также изменение наклона

при  $|t'| \sim 0,5$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Аппроксимация дифференциального сечения в области  $|t'| < 0,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> функцией  $A \exp(B \cdot t')$  дает следующие значения параметров А и В:  $A = 197,0 \pm 4,3$  мкб/(ГэВ/с)<sup>2</sup>,  $B = 9,43 \pm 0,24$  (ГэВ/с)<sup>-2</sup>. Полное поперечное сечение в исследуемом интервале переданных импульсов составляет  $20,2 \pm 2,4$  мкб с учетом систематической погрешности измерений.

Проведено сравнение полученных данных по  $d\sigma/dt'$  с предсказаниями двух моделей реджевского типа: квазиэikonальной (сплошная линия на рис.7) и редже-полной модели (пунктир), которые хорошо согласуются с нашими экспериментальными данными, за исключением области  $|t'| < 0,05$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Данные по измерению поляризации  $\Sigma^+$ -гиперонов представлены на рис.8. Предсказания указанных выше моделей проведены сплошной и пунктирной линиями, соответственно.

В третьем параграфе излагаются относящиеся к реакции

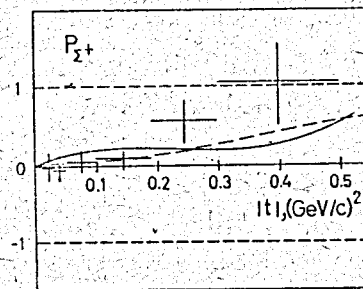


Рис.8. Поляризация  $\Sigma^+$ -гиперонов в реакции  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  при 12 ГэВ/с и предсказание моделей реджевского типа.

$K^+A \rightarrow K^0, K^{*0}, \phi + X$  результаты изучения возможности и условий регистрации  $K^0, K^{*0}, \phi$ -мезонов методом восстановления эффективных масс. Исследования проводились в двух близких конфигурациях расположения аппаратуры. Одна из них показана на рис.9.

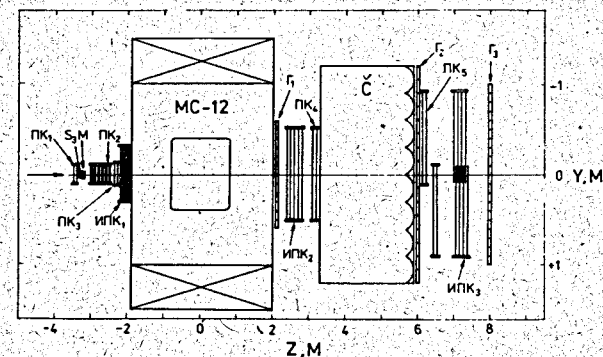


Рис.9. Конфигурация спектрометра при исследовании процессов  $K^+A \rightarrow h^+h^- + X$ ; обозначения как на рис.1.

Для идентификации продуктов распадов изучаемых резонансов за магнитом МС-12 располагались многоканальные черенковские счетчики (МЧС).

В запусках установку триггере требовалось прохождение через вторичный спектрометр не менее двух частиц противоположного знака ( $h^+$  и  $h^-$ ). Информация со счетчика записывалась на магнитные ленты или использовалась в запусках триггера. На рис.10 показан спектр эффективных масс  $M(K^+K^-)$  в реакции  $K^+Be \rightarrow h^+h^- + X$  при 11,2 ГэВ/с, когда МЧС регистрировал  $\Pi$ -мезоны и был включен в триггер в антисовпадение. Пик от распада  $\phi \rightarrow K^+K^-$  четко выделяется на сравнительно небольшом нерезонансном фоне. Среднее значение массы в пике  $M_\phi = 1020 \pm 0,8$  МэВ, ширина на полувысоте  $\Delta M_\phi = 12$  МэВ.

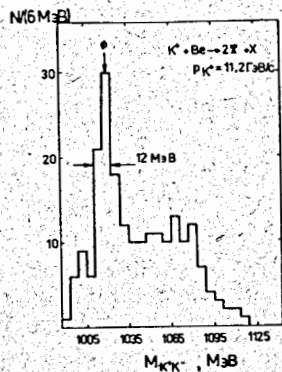


Рис.10. Распределение по эффективной массе системы  $K^+K^-$ .

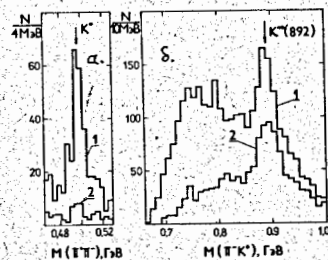


Рис.11. Распределение по эффективной массе  $M(\pi^+\pi^-)$  и  $M(K^+\pi^-)$ ; дополнительные пояснения см. в тексте.

На рис.11а,б показан пример использования записанной на МЛ информации со счетчика (без его включения в триггер) для выделения в спектрах эффективных масс пиков от распадов  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  и  $K^{*0} \rightarrow K^+\pi^-$ . В гистограмму 1 (рис.11а), построенную в предположении, что  $h^+$  и  $h^-$  являются пионами, входят события, в которых хотя бы один из адронов был идентифицирован счетчиком как  $\pi$ -мезон. Гистограмма 2 построена при этом же предположении, но ни один из адронов не идентифицирован счетчиком как пион. На рис.11б приведены спектры эффективных масс в предположении, что  $h^+$  и  $h^-$  являются  $K^+$ - и  $\pi^-$ -мезонами, соответственно. Гистограмма 1 получена без учета информации от счетчика. В гистограмму 2 вошли события, в которых приведенное выше предположение подтверждалось счетчиком. Из сравнения гистограмм видно, что использование информации со счетчика, которая дает возможность учитывать сорт частицы, порог регистрации, номер и число сработавших каналов, значительно снижает комбинаторный фон.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации.

1. Сформулированы и обоснованы основные физические требования к широкоапертурным черенковским детекторам, используемым в составе спектрометрического комплекса ГИПЕРОН. На основе оригинальных разработок создана и внедрена в эксперимент не имеющая прямых аналогов система таких детекторов. Выполнен цикл исследований их физических характеристик в условиях, соответствующих условиям проведения запланированных экспериментов.

2. Созданные детекторы полностью удовлетворяют требованиям эксперимента и по совокупности достигнутых параметров (разрешение  $\Delta\beta/\beta \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$ ; количество вещества на пути частиц менее  $0,15 \text{ г/см}^2$ ; независимость эффективности регистрации от угла влета частиц в интервале углов  $\pm 11^\circ$ ; значительная апертура) относятся к числу лучших устройств данного типа.

3. Впервые разработана и внедрена признанная изобретением (авт. свид. № 710820) новая технология изготовления особо тонких фокусирующих зеркал большого диаметра, являющихся одним из основных элементов газовых черенковских детекторов.

4. С целью улучшения разрешения счетчиков по скорости в интервале длин волн 350–750 нм исследована зависимость коэффициента отражения зеркал от толщины алюминиевого покрытия отражающей пленки. Найдена оптимальная толщина (0,1 мкм), обеспечивающая максимальный коэффициент отражения.

5. Методом Монте-Карло проанализирована возможность использования созданных одноканальных счетчиков в дифференциально-пороговом режиме в условиях спектрометра ГИПЕРОН. Получены оценки величин стабильностей параметров счетчика в зависимости от требуемого уровня сепарации частиц.

6. В условиях значительного пионного фона с помощью широкоапертурных одноканальных черенковских детекторов достигнуты необходимые уровни триггера ( $\approx 0,9 \cdot 10^{-4}$ ) и эффективность выделения каонов в реакциях  $\pi^+p \rightarrow K^+X$ , обеспечившие идентификацию бинарного процесса  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  методом анализа спектра недостающих масс  $M(X)$ .

7. Измерены полное  $\sigma_n = 20,2 \pm 2,4 \text{ мкб}$  и дифференциальное сечения  $d\sigma/dt'$  процесса  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  в области переданных импульсов  $0 < |t'| < 0,8 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . Для области  $|t'| < 0,1 \text{ (ГэВ/с)}^2$  измерения выполнены в 9 интервалах. Полученный результат по  $d\sigma/dt'$  является одним из двух самых прецизионных измерений указанного сечения в области энергий 10–15 ГэВ и удовлетворительно согласуется с предсказаниями теоретических моделей реджевского типа, за исключением области  $|t'| < 0,05 \text{ (ГэВ/с)}^2$ .

8. Выполнены предварительные исследования инклюзивных реакций  $K^+A \rightarrow K^0, K^{*0}, \phi + X$  с помощью созданных широкоапертурных многозеркальных черенковских счетчиков. В результате этого исследования показано, что указанные счетчики вместе с другими детекторами решают поставленную задачу: обеспечивают наблюдение эффекта - пиков в спектрах масс  $\pi^+\pi^-$ ,  $K^+\pi^-$  и  $K^+K^-$ , обусловленных распадами  $K^0$ -,  $K^{*0}$ - и  $\phi$ -мезонов, соответственно.



Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Антихов В.А., ..., Йорданов А.Б. и др. Спектрометр ГИПЕРОН - установка для исследования процессов образования и распадов частиц высоких энергий на 76 ГэВ протонном синхротроне. - Дубна, 1984. - 16 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: П13-84-562).
2. Бицадзе Г.С., ..., Йорданов А.Б. и др. Широкоапертурный газовый пороговый черенковский счетчик. - ПТЭ, 1982, № 3, с.56-59.
3. Йорданов А.Б., Сергеев С.В., Фещенко А.А. Технология изготовления тонких фокусирующих зеркал большого диаметра. - Дубна, 1979. - 7 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I3-I2752).
4. Блик А.М., ..., Йорданов А.Б. и др. Газовый пороговый черенковский счетчик с зеркалом из металлизированной полиэтилентерефталатной пленки с оптимизированной толщиной покрытия. - Дубна, 1983. - 7 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I3-83-153).
5. Йорданов А.Б., Ценов Р.В. Расчет методом Монте-Карло некоторых характеристик дифференциально-порогового режима работы газовых черенковских счетчиков. - Дубна, 1983. - 13 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I-83-217).
6. Бицадзе Г.С., ..., Йорданов А.Б. и др. Восьмиканальный газовый пороговый черенковский счетчик. - Дубна, 1985. - 6 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I3-85-80).
7. Бицадзе Г.С., ..., Йорданов А.Б. и др. Экспериментальное исследование реакции  $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$  при 12 ГэВ/с. - Дубна, 1984. - 10 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: П1-84-657).
8. Бицадзе Г.С., ..., Йорданов А.Б. и др. Об изучении инклюзивного образования векторных мезонов на установке ГИПЕРОН. (Сотрудничество ИФВЭ-ОИЯИ). - Дубна, 1983. - 7 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I-83-895).
9. Сергеев С.В., ..., Йорданов А.Б. и др. Способ изготовления зеркала из полимерного материала. Авторское свидетельство СССР, № 710820 от 28 сентября 1979 г. Бюлл. ОИПОТЗ, 25.01.1980 г., № 3, с.62.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 апреля 1985 года