

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.1.074.6

Б 669

539.171./ .6 539.126

1-89-386

БИЦАДЗЕ  
Георгий Сергеевич

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ГОДОСКОПИЧЕСКОГО  
КАЛОРИМЕТРА С АКТИВНЫМ КОНВЕРТОРОМ  
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
 $\pi^+A \rightarrow \eta X$  ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ 10,5 ГэВ/с  
И ПОИСКА РАСПАДА  $K_s^0 \rightarrow e^+e^-$

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1989

Работа выполнена в Серпуховском научно-экспериментальном отделе и в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
профессор

Ю. А. Рудагов

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Б. Ситар

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
профессор

В. И. Рыкалин

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В. В. Исаков

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва).

Защита диссертации состоится "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1989 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного Совета Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1989 г.

Ученый секретарь специализированного Совета  
доктор физико-математических наук

Ю. А. Батусов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

В современной экспериментальной физике высоких энергий при исследовании процессов с выходом гамма-квантов все более широкое распространение находят калориметрические детекторы, с помощью которых могут быть получены хорошие энергетическое и пространственное разрешения. Высокое пространственное разрешение годоскопических электромагнитных калориметров обычно связывается с уменьшением размера ячеек. Между тем высокие точности могут быть достигнуты также в случае применения более крупных ячеек в сочетании с дополнительным конвертором и детектором, измеряющим координаты оси ливня (как в настоящем исследовании).

Важность и актуальность развития методики калориметрических детекторов иллюстрируется еще и тем, что все крупные установки, планируемые к использованию на строящихся ныне мощных ускорителях, обязательно предусматривают подобные детекторы. Разработанный в диссертации методический подход – применение дрейфовых камер для точного определения координат оси ливня – является актуальным и перспективным прежде всего в области сверхвысоких энергий.

Созданный для нашей установки электромагнитный калориметр позволил провести эксперименты по изучению адрон-ядерных взаимодействий типа  $\pi^+A \rightarrow \gamma X$  и получить ряд сведений об этих малоисследованных процессах, что существенно для разработки теории мягких  $hA$ -взаимодействий.

Использование активного конвертора в годоскопическом электромагнитном калориметре позволяет дискриминировать сигналы от адронов при регистрации электронов, что расширяет возможности установки. В частности, в наших исследованиях это позволило оценить верхнюю границу вероятности редкого распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ , измерение которой важно для современной теории электрослабого взаимодействия.

### Цель работы:

- Создать электромагнитный калориметр для эффективной регистрации  $\gamma$ -квантов и электронов с хорошим энергетическим разрешением.
- Измерить  $A$ -зависимость реакции  $\pi^+A \rightarrow \gamma X$ , получить новую границу вероятности распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ .

- Улучшить пространственное разрешение ливневого годоскопического детектора (ЛГД) (ячейка  $10 \times 10 \text{ см}^2$ ) с апертурой  $2 \text{ м}^2$ , дополнив его активным конвертором (АК) и координатным детектором.

#### Научная новизна:

- В созданном крупномасштабном годоскопическом электромагнитном калориметре в качестве прецизионного координатного детектора, регистрирующего электромагнитные ливни, впервые применена широкоазорная дрейфовая камера.

- Получены новые данные об  $A$ -зависимости инклюзивного дифференциального сечения  $\frac{d\sigma}{dX_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) \sim A^{\alpha(X_F)}$ ; параметр  $\alpha(X_F)$  измерен в интервале  $0 < P_T \leq 0,8$ ,  $X_F \geq 0,57$ .

- Осуществлен поиск редкой моды распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$  и установлена верхняя граница его вероятности.

#### Практическая ценность

Для расширения возможностей установки ГИПЕРОН создан электромагнитный калориметр с апертурой  $0,62 \text{ м}^2$ , состоящий из ливневого годоскопического детектора (ЛГД) и активного конвертора (АК), элементы которых изготовлены из свинцового стекла. В пучках заряженных частиц исследованы характеристики, необходимые для определения энергии фотонов в системе АК+ЛГД.

Впервые получены сведения о поперечном и продольном развитии ливня в свинцовом стекле. Эти результаты используются при обработке данных с годоскопических черенковских детекторов полного поглощения на установке ГИПЕРОН.

Результаты исследований по созданию калориметра с апертурой  $0,62 \text{ м}^2$  легли в основу создания в ОИЯИ более крупного электромагнитного калориметра с апертурой  $2 \text{ м}^2$ .

Экспериментально доказана перспективность использования широкоазорной дрейфовой камеры в качестве координатного детектора для прецизионной регистрации координаты ствола электромагнитного ливня.

Использование электромагнитного калориметра с апертурой  $0,62 \text{ м}^2$  на установке ГИПЕРОН позволило получить ряд новых научных результатов:  $A$ -зависимость образования  $\eta$ -мезонов  $\Pi^+$ -мезонами, верхнюю границу вероятности распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ .

#### Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований, в которых получены характеристики электромагнитного калориметра с активным конвертором;

- результаты исследования процессов развития электромагнитных ливней при энергиях  $3-9 \text{ ГэВ}$  в свинцовом стекле;

- экспериментальное обоснование возможности использования широкоазорной дрейфовой камеры в качестве координатного детектора для прецизионного измерения координаты ствола электромагнитного ливня;

- экспериментальные результаты: измерение  $A$ -зависимости инклюзивного дифференциального сечения образования  $\eta$ -мезонов  $\Pi^+$ -мезонами при  $10,5 \text{ ГэВ/с}$ ; поиск распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$  и установления верхней границы его вероятности.

Апробация и публикации. Диссертация написана на основе работ, выполненных автором в Серпуховском научно-экспериментальном отделе и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Изложенный в диссертации материал докладывался на научных семинарах Лаборатории ядерных проблем, Серпуховского научно-экспериментального отдела, заседаниях специализированных комитетов и сессиях Ученого совета ОИЯИ, Научно-технического совета ИФВЭ, на XXIII Международной конференции по физике высоких энергий (Беркли, 1986 г.).

По результатам диссертации опубликовано 5 работ в виде препринтов ОИЯИ и статей в журналах "Приборы и техника эксперимента", "Nuclear Instruments and Methods", "Nuclear Physics" и "Physics Letters".

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Она изложена на 112 страницах, включая 42 рисунка, 11 таблиц и список литературы из 93 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении указывается на важную роль, которую играют калориметрические координатные детекторы класса ГАМС для исследования таких процессов взаимодействия частиц с нуклонами и ядрами, которые сопровождаются выходом электронов и фотонов. Конкретно обосновывается необходимость развития этой методики для экспериментов в области физики высоких энергий. Указывается ряд конкретных, малоисследованных процессов (инклюзивные реакции типа  $\pi^+A \rightarrow \eta X$ , распад  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ ), изучение которых может быть эффективно выполнено с помощью ливневых годоскопических детекторов. Рассмотрено предсказание кварковой модели взаимодействия адронов с ядрами.

Сформулированы и поставлены задачи для исследований.

В первой главе описан вариант установки ГИПЕРОН, созданной совместно ОИЯИ и ИФВЭ и использовавшейся для проведения исследований, результаты которых (частично) включены в диссертацию. Установка, располагавшаяся на 18 канале  $У-70$  ИФВЭ, состоит из пучкового спектрометра и спектрометра вторичных частиц (рис. I).

Первичные частицы ( $\Pi^+$ ,  $K^+$ ) выделялись при помощи пучкового спектрометра и наводились на мишень  $M$  ( $H_2$ ,  $D_2$ ,  $I_2$ ,  $Be$ ,  $Al$ ,  $Cu$ ). Пропорциональные камеры ПК и сцинтилляционный годоскоп Г выделяли треки



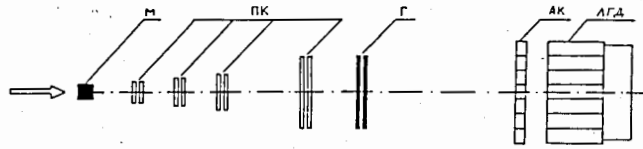


Рис.1. Спектрометр вторичных частиц.

заряженных частиц. Электромагнитный калориметр с апертурой  $0,62 \text{ м}^2$  предназначался для регистрации  $\gamma$ ,  $e^\pm$ ; он состоял из ливневого годоскопического детектора (ЛГД) (изготовленного из блоков свинцового стекла ТФ-1-000 с размерами ячеек  $10 \times 10 \times 35 \text{ см}^3$ ) и активного конвертора (АК) толщиной по пучку в 2,4 рад.дл. (использовано стекло ТФ-1-000).

Описана конструкция элементов ЛГД, АК и приведены результаты исследований их характеристик в пучках заряженных частиц. Показано, что наличие АК, расположенного вблизи ЛГД, не ухудшает собственные параметры ЛГД - координатное и энергетическое разрешения - и позволяет дискриминировать сигналы от адронов при регистрации электронов в условиях адронного фона. Приводятся результаты исследования поглощения излучения в свинцовых стеклах ТФ-1-000 и ТФ-1-00, используемых в качестве радиаторов в АК, толщиной 2,4 и 4 рад.дл. соответственно.

Наличие АК позволяет дискриминировать сигналы от адронов. На рис.2 представлена экспериментальная зависимость уровня подавления  $\Pi^+$ -мезонов от количества потерянных электронов при изменении порога на энерговыделение в элементе активного конвертора. Как видно из рис.2, ценой 6% потерь электронов величина подавления  $\Pi^+$ -мезонов есть: для АК 2,4 рад.длины  $\mathcal{R} \leq 2,5 \cdot 10^{-3}$ , для АК 4 рад.длины  $\mathcal{R} \leq 1,8 \cdot 10^{-3}$ .

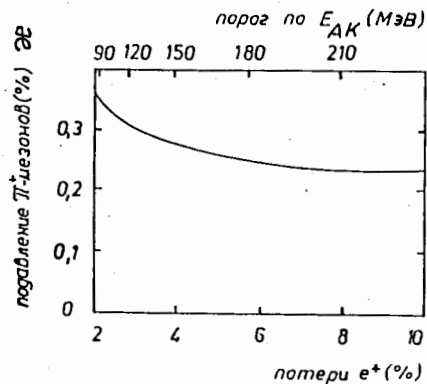


Рис.2. Соотношение между уровнем подавления  $\Pi^+$ -мезонов и числом незарегистрированных позитронов.

Получены следующие характеристики электромагнитного калориметра: собственное координатное разрешение  $\Delta X \approx 10 \pm 11 \text{ мм}$  и энергетическое разрешение  $\Delta E/E \approx 5\%$  при 5 ГэВ.

Вторая глава посвящена исследованию продольного и поперечного развития ливня в свинцовом стекле,

вызванного позитронами с энергией 3+9 ГэВ, а также разработке методики измерения координаты ствола электромагнитного ливня при помощи широкоазимутной дрейфовой камеры. Эти данные использованы для определения энергии в комбинированном электромагнитном калориметре АК+ЛГД, а также в расчете эффективности установки.

Изучение продольного развития ливня проведено с помощью черенковского счетчика, в качестве радиатора которого использовали свинцовое стекло толщиной 1 рад.длины, на пучке позитронов с энергией 5 и 9 ГэВ. Энерговыделение ливня, регистрируемого по черенковскому излучению частиц ливня, измерено на глубинах от 1 до 19 рад.длины и приведено на рис.3. Экспериментальные данные аппроксимировались функцией

$$A(t, E) = \left(\frac{t}{N_0}\right) \cdot A_0 \cdot E \cdot t^p \cdot \exp(-ct), \quad (1)$$

где  $A(t, E)$  - средняя амплитуда сигнала со счетчика на глубине  $t$  рад.дл., вызванного позитронами с энергией  $E$ ;  $N_0 = \int t^p \exp(-ct) dt$ ;  $A_0 = (508,6 \pm 8,8) \text{ ГэВ}^{-1}$ ;  $p = a + b \ln E$ ;  $a = 1,12 \pm 0,14$ ,  $b = 0,924 \pm 0,075$ ,  $c = 0,562 \pm 0,019$ . Кривые на рис.3 соответствуют энергиям позитронов в 5 и 9 ГэВ.

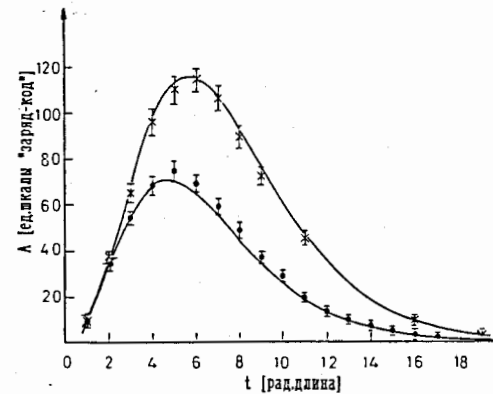


Рис.3. Продольное распределение электромагнитного ливня в свинцовом стекле ТФ-1, вызванного позитронами:  $\circ$  - 5 ГэВ,  $\times$  - 9 ГэВ.

зано на рис.4. Экспериментальные данные аппроксимировались функцией, представляющей собой сумму двух экспонент (сплошные линии на рис.4):

$$Y(x, t) = c_1 \cdot \exp(-|x-x_1|/\lambda_1(t)) + c_2 \cdot \exp(-|x-x_2|/\lambda_2(t)), \quad (2)$$

Положения максимумов кривых (1) хорошо совпадают с рассчитанными по формуле  $t_{max} = 1.01(\ln E/\epsilon_{cs} - 1)$ , где  $\epsilon_{cs}$  - критическая энергия для данного вещества.

Для улучшения собственного координатного разрешения ЛГД применены широкоазимутные дрейфовые камеры (ЩДК) с длиной дрейфа  $\pm 100 \text{ мм}$ , установленные между АК и ЛГД. С помощью ЩДК измерены параметры поперечного развития электромагнитного ливня, вызванного позитронами в свинцовом стекле ТФ-1. Поперечное распределение заряда в ливне показано на рис.4.

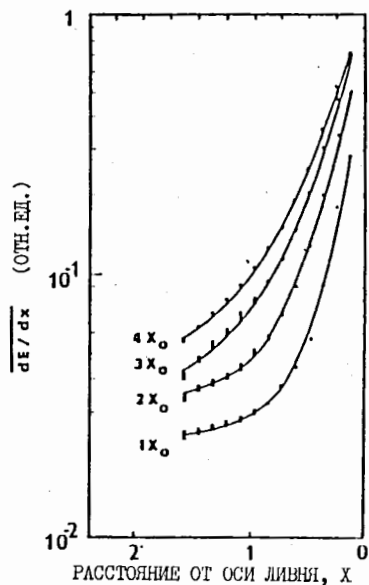


Рис. 4. Поперечное распределение электромагнитного ливня на разных глубинах.

$\lambda_1(t)$  и  $\lambda_2(t)$  – постоянные спада для центральной и периферической частей ливня соответственно;  $t$  – глубина развития ливня в единицах рад.дл.;  $x_2=0$  – приведенная координата оси ствола электромагнитного ливня. Зависимость  $\lambda_1(t)$  приведена на рис. 5 и сравнивается с аналогичными данными других работ.

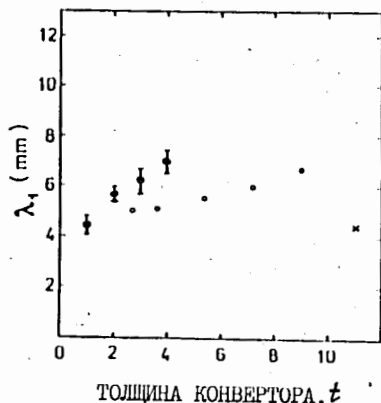


Рис. 5. Зависимость параметра  $\lambda_1(t)$  от глубины развития ливня: • – свинцовое стекло ТФ-1, 3 ГэВ; ◻ – свинец, 32 ГэВ; × – свинцовое стекло, 25 ГэВ.

Эти результаты используются при обработке и анализе информации, поступающей из ЛГД.

Приводится описание электромагнитного калориметра с апертурой  $2 \text{ м}^2$ , в котором ливневый годоскопический детектор дополнен, в результате разработок автора, активным конвертором (4 рад. длины) и широкоазорными дрейфовыми камерами.

Схема установки, в которой использовали данный калориметр, приведена на рис. 6.

На этой установке выполнен набор статистики по исследованию инклюзивной реакции  $\pi^+ A \rightarrow M_0 X$  ( $M_0 \rightarrow \gamma \gamma$ ) и осуществляется предварительный набор данных в эксперименте по исследованию распадов  $K^+$ -мезонов.

Пространственное разрешение большого электромагнитного калориметра определяется из распределений  $X_{\text{ШДК}} - X_{\text{ПК}}$ , где  $X_{\text{ШДК}}$  и  $X_{\text{ПК}}$  – координаты оси ливня и электрона в ШДК и ПК соответственно. На рис. 7 приведены распределения величин  $X_{\text{ЛГД}} - X_{\text{ПК}}$  (а) ( $X_{\text{ЛГД}}$  – координата ливня,

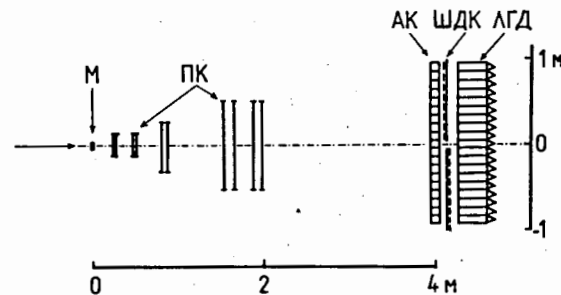


Рис. 6. Схема установки, включающей электромагнитный калориметр с апертурой  $2 \text{ м}^2$ .

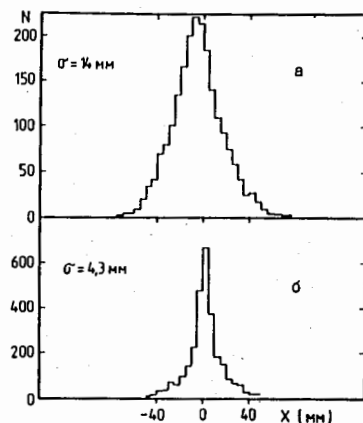


Рис. 7. Распределение значений величин: а)  $X_{\text{ЛГД}} - X_{\text{ПК}}$  и б)  $X_{\text{ШДК}} - X_{\text{ПК}}$ .

определенная в ЛГД) и  $X_{\text{ШДК}} - X_{\text{ПК}}$  (б). Среднее квадратическое отклонение распределений  $X_{\text{ЛГД}} - X_{\text{ПК}}$  и  $X_{\text{ШДК}} - X_{\text{ПК}}$  (рис. 7) составляет соответственно  $\approx 14 \text{ мм}$  и  $\approx 4,3 \text{ мм}$ . С учетом погрешностей определения координаты треков в ПК координатное разрешение для ливней, полученное с помощью ШДК,  $\approx 3 \text{ мм}$ . Из приведенных результатов следует, что применение системы АК+ШДК для ЛГД с ячейкой  $100 \times 100 \text{ мм}^2$  при энергиях  $1+5 \text{ ГэВ}$  улучшает координатное разрешение в 3+4 раза, а разрешение близлежащих ливней составляет  $\approx 30+40 \text{ мм}$ , что в 4-5 раз лучше, чем в ЛГД без АК+ШДК (см. рис. 7а).

Третья глава посвящена измерению

$\Lambda$ -зависимости инклюзивного образования

$\eta$ -мезонов  $P^+$ -мезонами при  $10,5 \text{ ГэВ/с}$ , а также оценке верхней границы вероятности редкого распада  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ .

Описываются условия проведения эксперимента, процедура калибровки ливневого годоскопического детектора совместно с активным конвертором. Правильность работы установки в целом предварительно тестировалась по восстановлению эффективной массы пучкового  $K^+$ -мезона (по моде распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ ) в экспозиции без мишени (рис. 8). Разрешение электромагнитного калориметра (с апертурой  $0,62 \text{ м}^2$ ) в области массы

$\eta$ -мезона при суммарной энергии двух гамма-квантов более  $6 \text{ ГэВ}$  составило  $\leq 38 \text{ МэВ}$ . По кинематическим переменным  $X_F$  и  $P_T$  установка

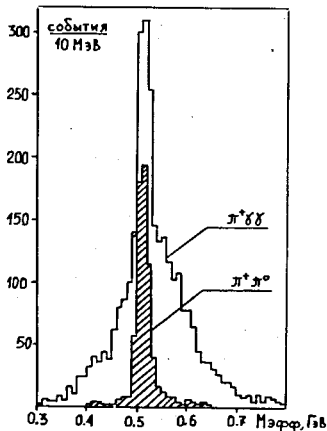


Рис.8. Спектры эффективных масс  $\pi^+\pi^+\pi^0$  и  $\pi^+\pi^0$ , соответствующие распадам пучкового  $K^+$ -мезона.

перекрывала следующие интервалы: по фейнмановской переменной  $0,57 \leq X_F < 1$  (десять интервалов), по поперечному импульсу  $0 < P_T \leq 800$  МэВ/с (восемь интервалов).

Определялись отношения дифференциальных сечений реакций:

$$R_{D/H}(X_F) = \left[ \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ D \rightarrow \gamma X) \right] / \left[ \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ p \rightarrow \gamma X) \right],$$

$$R_A(X_F) = \left[ \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ A \rightarrow \gamma X) \right] / \left[ \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ D \rightarrow \gamma X) \right].$$

В нашем случае систематические ошибки измерений для различных ядер примерно одинаковы. Поэтому отношения слабо чувствительны к систематической ошибке.

Полученные значения  $R_A(X_F)$  параметризовались в виде  $R_A(X_F) \sim A^{\alpha(X_F)}$ . Если отношения сечений удовлетворяют степенной зависимости, то и сами сечения должны следовать этой зависимости:

$$\frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ A \rightarrow \gamma X) \sim A^{\alpha(X_F)}.$$

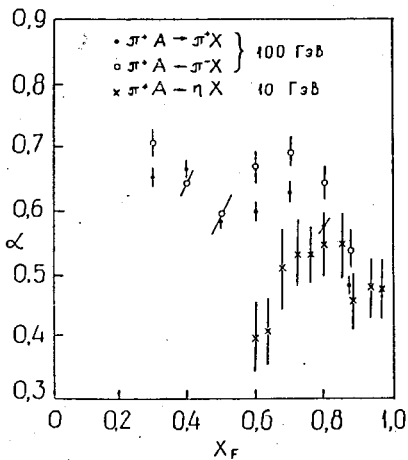


Рис.9. Зависимость  $\alpha(X_F)$  для реакций  $\pi^+ A \rightarrow \gamma X$ ,  $\pi^+ A \rightarrow \pi^+ X$  и  $\pi^+ A \rightarrow \pi^- X$ .

На рис.9 приведена полученная нами зависимость  $\alpha(X_F)$  в интервале  $0,57 \leq X_F < 1$ : среднее значение  $\alpha(X_F) = 0,50 \pm 0,02$  находится в удовлетворительном согласии с предсказанием аддитивной кварковой модели, рассмотренной во введении. На этом же рисунке показаны значения  $\alpha(X_F)$ , измеренные при исследовании А-зависимости инклюзивного образования  $\pi^+$ -мезонов  $\pi^+$ -мезонами при 100 ГэВ. Наблюдаемую сильную ( $\alpha = 0,65$ ) А-зависимость для реакций  $\pi^+ A \rightarrow \pi^+ X$  и

$\pi^+ A \rightarrow \pi^- X$  в области  $X_F \approx 0,7$  авторы данных при 100 ГэВ объясняют когерентным рождением трех- и пятипиконных систем. В случае  $\eta$ -мезонов подобное усиление не имеет места. Действительно, практически не существует тяжелых адронных состояний, образующихся с большим сечением и распадающихся на  $\eta$ -мезоны. Возможно, что наблюдаемое различие величин  $\alpha_{\pi^+}$  и  $\alpha_{\eta}$  обусловлено отмеченным различием в динамике образования  $\pi$ - и  $\eta$ -мезонов. Полученные нами величины  $\alpha(P_T)$  находятся в интервале  $0,4 \pm 0,65$  со средним значением  $\langle \alpha(P_T) \rangle = 0,46 \pm 0,03$ .

Далее описывается процедура определения верхней границы вероятности распада  $K_S^0 \rightarrow e^+ e^-$ . При обработке данных отбирались пары треков, которые давали значительное энерговыделение в электромагнитном калориметре. Такие треки ассоциировались с электронами (позитронами).

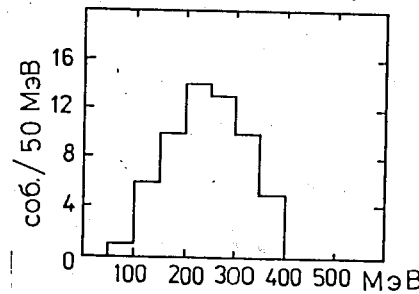


Рис.10. Распределение по эффективной массе двух частиц, дающих большое энерговыделение в электромагнитном калориметре.

На рис.10 показан спектр эффективных масс отобранных таким образом частиц. Разрешение установки по эффективной массе  $\lesssim 30$  МэВ.

Расчет эффективности установки к регистрации данного распада осуществлялся методом Монте-Карло. Эффективность, связанная с триггерным условием и регистрирующей электроникой, геометрическая эффективность установки и эффективность распознавания  $e^+$  (т.е. восстановления треков  $e^+$  и обусловленных ими ливней) составляют  $\epsilon_{3A} = 15\%$ ,  $\epsilon_{FB} = 6\%$  и  $\epsilon_{\pi^+} = 47\%$  соответственно.

Расчет интегрального количества  $K^0$ -мезонов, которые образовались в мишени и могли дать регистрируемый установкой распад  $K_S^0 \rightarrow e^+ e^-$ , производился методом Монте-Карло на основе использования экспериментальных данных по дифференциальному сечению образования  $K_S^0$  в реакции  $K^+ p \rightarrow K_S^0 X$  при 8,2 ГэВ/с. Так как данные о дифференциальном сечении реакции  $K^+ A \rightarrow K^0 X$  в нашей области энергии отсутствовали, то зависимость дифференциальных сечений от атомного номера бралась в виде  $A^{\alpha(X_F, P_T)}$ . При расчете полагали  $\alpha = 0,4$ , что можно считать нижней границей, тем самым заведомо занижая число  $K_S^0$ -мезонов, рожденных на ядрах.

Полное число  $K_S^0$ -мезонов, пропущенных через установку, есть  $N_{K_S^0} = 1 \cdot 10^7$ . Учитывая эффективность установки к данному распаду, определили число  $K_S^0$ -мезонов, которые могла бы зарегистрировать установка, если бы они распадались только по моде  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ :  $N_{K_S^0}^{PE} \approx 2,15 \cdot 10^4$ . Так как ни одно событие (в том числе и фоновое) в интервале эффективных масс 400+500 МэВ (рис.10) не обнаружено, верхняя граница вероятности распада на 90% уровне достоверности есть

$$BR(K_S^0 \rightarrow e^+e^-) \leq 1,1 \cdot 10^{-4} \quad (90\% \text{ C.L.}).$$

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации:

1. Для исследования процессов взаимодействия адронов с нуклонами и ядрами в области энергии 10 ГэВ, сопровождающихся выходом  $\gamma$ -квантов, электронов и позитронов, спектрометрический комплекс ГИПЕРОН дополнен ливневым годоскопическим детектором (ЛГД) с апертурой 0,62 м<sup>2</sup>, состоящим из черенковских счетчиков полного поглощения на основе свинцового стекла ТФ-1. Энергетическое и координатное разрешения калориметра составляют  $\Delta E/E \approx 5\%$ ,  $\Delta x \approx 10+11$  мм при энергии ливней  $\approx 5$  ГэВ.

С использованием этого калориметра проведен набор экспериментального материала по изучению процессов  $\pi^+A \rightarrow \eta X$ . На магнитные ленты записано  $\sim 1,7 \cdot 10^6$  событий.

2. Созданы активные конверторы из свинцового стекла толщиной по пучку 2,4 и 4 радиационных длин. Результаты экспериментальных исследований показывают, что введение конверторов в годоскопический электромагнитный калориметр полного поглощения не ухудшает энергетическое и пространственное разрешения ЛГД, позволяет дискриминировать адроны при регистрации электронов без существенных потерь электронов ( $\sim 6\%$  при 5 ГэВ) с фактором подавления  $\mathcal{R}$  на уровне:

$$\begin{aligned} \text{для активного конвертора 2,4 рад.длин} & \quad \mathcal{R} \leq 2,5 \cdot 10^{-3}, \\ \text{для активного конвертора 4 рад.длин} & \quad \mathcal{R} \leq 1,8 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

3. Для калибровки активного конвертора определены параметры продольного развития электромагнитного ливня в свинцовом стекле ТФ-1-000, вызванного позитронами с энергией 5 ГэВ и 9 ГэВ по черенковскому излучению частиц ливня на глубинах от 1 до 19 радиационных длин. Продольное поведение ливня описывается функцией  $A(t, E) = \left(\frac{1}{\mu_0}\right) A_0 \cdot E \cdot t^p \exp(-ct)$ ,  $c = 0,562 \pm 0,019$ ,  $p = (1,12 \pm 0,14) + (0,924 \pm 0,075) \ln E$  ( $E = \text{ГэВ}$ ). Экспериментально определенное положение максимума ливня (1) находится в хорошем согласии с положением максимума ливня, определенным по формуле  $t_{max} = 1,01(\ln E/\epsilon_{cr} - 1)$ . Ранее подобные экспериментальные данные на свинцовом стекле не были известны.

4. С помощью широкоазорной дрейфовой камеры экспериментально установлены параметры поперечного развития электромагнитного ливня, вызванного позитронами с энергией 3 ГэВ в свинцовом стекле ТФ-1-000 на глубинах от 1 до 4 радиационных длин. Данные хорошо описываются функцией (2), представляющей собой сумму двух экспонент. (Подобные сведения для свинцового стекла ранее имелись только при энергии 25 ГэВ). Полученные результаты используются при вычислении эффективности установки и энергии, выделенной в калориметре.

5. Использование активного конвертора (4 рад.длин) и широкоазорных дрейфовых камер в дополнение к ливневому годоскопическому детектору с апертурой 2 м<sup>2</sup> (размер ячейки 10x10 см<sup>2</sup>) обеспечило существенное улучшение параметров этого детектора. Достигнуто 3+4-кратное улучшение координатного разрешения (от  $\approx 14$  мм до  $\approx 3+4$  мм) при энергиях ливней 1+5 ГэВ. С ростом энергии достигнутое координатное разрешение не будет ухудшаться. Разрешение близлежащих ливней при этих энергиях оценивается в 30+40 мм.

6. Измерены относительные выходы  $\eta$ -мезонов во взаимодействиях  $\pi^+$ -мезонов с ядрами  $H_2$ ,  $D_2$ ,  $Li$ ,  $Be$ ,  $Al$  и  $Si$  при 10,5 ГэВ/с.

- Получена  $A$ -зависимость инклюзивных дифференциальных сечений

$$\frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) \sim A^\alpha(x_F),$$

которая ранее не исследовалась.

- Величина  $\alpha(x_F)$  измерена в десяти интервалах по  $x_F$  в области  $0,57 \leq x_F < 1$  и восьми интервалах по  $P_T$  в области  $P_T \leq 0,8$  ГэВ/с. При этом среднее значение  $\alpha$  составляет:  $\langle \alpha(x_F) \rangle = 0,50 \pm 0,02$  и  $\langle \alpha(P_T) \rangle = 0,46 \pm 0,03$ .

7. Сопоставление величин  $\alpha(x_F)$  в области  $x_F > 0,6$  для процессов  $\pi^+A \rightarrow \eta X$  и  $\pi^+A \rightarrow \pi X$  свидетельствует о различии механизмов образования  $\eta$ - и  $\pi$ -мезонов на ядрах.

8. Впервые в электронном эксперименте с применением годоскопического электромагнитного калориметра с активным конвертором, дискриминирующим адронный фон при регистрации электронов, установлена верхняя граница вероятности редкого распада

$$BR(K_S^0 \rightarrow e^+e^-) \leq 1,1 \cdot 10^{-4} \quad (90\% \text{ C.L.}).$$

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Г.С.Бицадзе, Ю.А.Будагов, А.Б.Иорданов, Л.Б.Литов, Ю.Ф.Ломакин, С.Н.Малюков, А.А.Олейник, Н.А.Русакович, А.А.Семенов, В.Б.Флягин, Р.В.Ценов, Ю.Н.Харжеев, И.Шпалек, В.М.Маниев, И.А.Минашвили. Характеристики годоскопического электромагнитного калориметра из свинцового стекла с апертурой 2 м<sup>2</sup>. ПТЭ, № 4 (1987), с.52.

2. G.S.Bitsadze, V.M.Maniev, I.A.Minashvili, N.A.Russakovich, R.V.Tsenov. Longitudinal Development of Electromagnetic Shower Produced by 5 and 9 GeV Positrons in Lead Glass. - Dubna, 1986. - 4 p. (Preprint JINR, E1-86-87).
3. G.S.Bitsadze, Yu.A.Budagov, V.V.Glagolev, V.M.Korolev, A.A.Omel'ianenko, A.A.Semenov, S.V.Sergeev, V.Hlinka, B.Sitar, E.Kladiya, J.Špalek, A.M.Blick, A.S.Solov'ev, A.B.Jordanov, R.V.Tsenov, I.A.Minashvili, A.M.Artycov. Accuracy of Electromagnetic Shower Position Determination by a Wide-Gap Drift Chamber. Nucl.Instr.Meth., A251 (1986), 61-66.
4. G.S.Bitsadze, Yu.A.Budagov, I.E.Chiricov-Zorin, V.P.Dzheleпов, A.A.Feschenco, V.B.Flyagin, A.B.Jordanov, B.Z.Kopeliovich, Yu.F.Lomakin, S.N.Malyukov, N.A.Russakovich, A.A.Semenov, S.V.Sergeev, J.Špalek, P.Strmen, S.Tokar, R.V.Tsenov, V.B.Vinogradov, S.A.Akimenko, V.I.Belousov, A.M.Blick, V.N.Kolosov, V.M.Kut'in, Yu.M.Mel'nik, A.I.Pavlinov, A.S.Solov'ev, V.V.Tchurakov, A.E.Yakutina, V.M.Maniev, I.A.Minashvili, L.Šandor. A-Dependens of  $\eta$ -meson Inclusive Production at 10.5 GeV/c. Nucl.Phys., B279 (1987), 770-784.
5. G.S.Bitsadze, Yu.A.Budagov, I.E.Chiricov-Zorin, V.P.Dzheleпов, A.A.Feschenco, V.B.Flyagin, Yu.F.Lomakin, S.N.Malyukov, N.A.Russakovich, A.A.Semenov, S.V.Sergeev, V.B.Vinogradov, S.A.Akimenko, V.I.Belousov, A.M.Blick, V.N.Kolosov, V.M.Kut'in, A.I.Pavlinov, A.S.Solov'ev, V.M.Maniev, I.A.Minashvili, A.B.Jordanov, R.V.Tsenov, L.Šandor, J.Špalek. A New Upper Limit For The Branching Ratio of The Decay  $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$ . - 3 p. Phys.Lett., v.167B, No.1, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 мая 1989 года.