

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-95-346

В.М.Артёмов, В.Н.Болотов¹, С.А.Волков¹, А.В.Восканян²,
Г.А.Емельяненко, Б.Ж.Залиханов, А.Ж.Кетикян²,
Е.В.Комиссаров, В.С.Курбатов, С.В.Лаптев¹, И.Н.Семенюк¹,
В.З.Сердюк, В.В.Сидоркин, И.Н.Силин, С.В.Ященко

π , e , μ -ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА УСТАНОВКЕ ИСТРА-М

¹ИЯИ РАН, Москва

²Ереванский физический институт, Армения

π, e, μ -идентификация на установке ИСТРА-М

Описываются результаты изучения реакции детекторов установки ИСТРА-М (электромагнитного и адронного калориметров, мюонного годоскопа) на три типа заряженных частиц — π -мезоны, электроны и мюоны. Приводятся точностные характеристики этих детекторов. Изучение проводилось на пучке электронов (энергия ~ 10 ГэВ) и широком пучке мюонов. π -мезоны выделялись из распада $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$. Приводятся значения величин π, e, μ -режекции для различных пар частиц при средней энергии ~ 10 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод авторов

Artemov V.M. et al.

P1-95-346

 π, e, μ -Identification on the ISTRA-M Setup

The results of the investigation of the ISTRA-M setup detector (electromagnetic and hadron calorimeter, muon hodoscope) response for three types of charged particles — π -meson, electron and muon are described. Accuracy characteristics of these detectors are reported. The study was carried out using electron beam (energy ~ 10 GeV) and wide muon beam. $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ decay was used to select π -mesons. The values of the π, e, μ -rejection for various pairs of particles at the mean energy ~ 10 GeV are obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

1 Введение

При анализе результатов экспериментов в физике высоких энергий большое значение имеет идентификация типа частиц, участвующих в реакциях, распадах и т.д. В частности, это является особенно важным при изучении редких распадов K -мезонов. Если для выделения первичных частиц широко используются пороговые черенковские счетчики, то для идентификации типа вторичных заряженных частиц часто необходимы специальные детекторы. На установке ИСТРА-М имеется три таких детектора: электромагнитный калориметр, адронный калориметр и мюонный идентификатор. В данной работе проводится изучение реакции этих детекторов на три типа заряженных частиц (мюоны, π^- -мезоны и электроны).

2 Установка ИСТРА-М

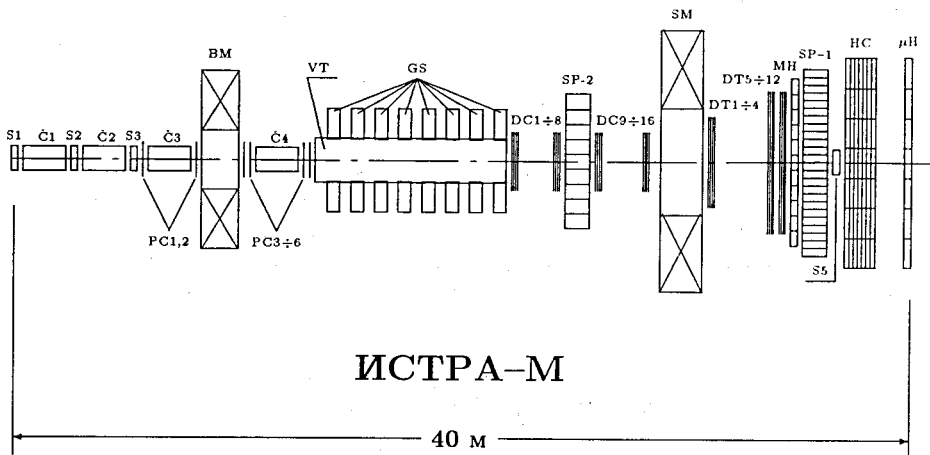
Установка ИСТРА-М — это модернизированный вариант установки ИСТРА, созданной в начале 80-х годов на канале 4А ускорителя У-70 в Протвино для изучения редких мод распадов π^- - и K^- -мезонов. В середине 80-х годов на установке получен ряд интересных результатов по изучению известных и поиску новых распадов π^- - и K^- -мезонов [1]. После существенной модернизации в 1989–1992 годах установка была названа ИСТРА-М. В настоящее время ведется обработка данных с трех сеансов, проведенных в 1992 и 1994 годах. Получены первые физические результаты — были измерены параметры λ_+ , λ_0 формфакторов в распаде $K^- \rightarrow \mu^- \nu \pi^0$ [2]. На рис. 1 показана схема установки ИСТРА-М.

Пучок K^- -мезонов выделяется черенковскими пороговыми счетчиками $\check{C}1 \div \check{C}4$ и сцинтилляционными счетчиками $S1 \div S5$. Пропорциональные камеры $PC1 \div PC6$ и пучковый магнит BM предназначены для определения направления и уточнения импульса K^- -мезона. За пучковыми камерами расположен распадный объем VT , окруженный восемью кольцами черенковских счетчиков охранной системы GS , распределенных вдоль трубы.

За распадным объемом имеется трековая система, состоящая из чередующихся X - и Y -плоскостей дрейфовых камер $DC1 \div DC16$, которые служат для восстановления вершины распада и измерения углов входа вторичных частиц в спектрометрический магнит SM . Черенковский спектрометр полного поглощения $SP-2$ предназначен для регистрации вторичных электронов и γ -квантов, летящих под большими углами.

Траектория вторичной заряженной частицы после магнита регистрируется трековой системой, состоящей из плоскостей дрейфовых трубок $DT1 \div DT12$. Матричный годоскоп MH предназначен для идентификации (вместе с дрейфовыми камерами и дрейфовыми трубками) пространственных треков вторичных частиц.

Черенковский спектрометр полного поглощения $SP-1$ определяет количество электромагнитных ливней, измеряет их энергию и координаты. Непосредствен-



ИСТРА-М

40 м

Рис. 1. Установка ИСТРА-М: $\check{C}1 \div \check{C}4$ — черенковские счетчики; $S1 \div S5$ — сцинтилляционные счетчики; $PC1 \div PC6$ — пропорциональные камеры; BM — пучковый магнит; VT — распадная труба; GS — охранная система; $DC1 \div DC16$ — дрейфовые камеры; $SP-2$ — черенковский спектрометр; SM — спектрометрический магнит; $DT1 \div 12$ — дрейфовые трубки; MH — матричный годоскоп; $SP-1$ — черенковский спектрометр; HC — адронный калориметр; μH — мюонный годоскоп.

но за спектрометром $SP-1$ расположен адронный калориметр HC , предназначенный для идентификации мюонов и для улучшения разделения электронов и адронов. Последним детектором установки является мюонный идентификатор μH , отделенный от адронного калориметра железным поглотителем толщиной ~ 200 см по пучку.

Для идентификации типа вторичных частиц служат $SP-1$, HC и μH , поэтому остановимся подробнее на их конструкции.

2.1 Электромагнитный калориметр

Годоскопический черенковский спектрометр полного поглощения $SP-1$ представляет собой матрицу 24×24 из счетчиков размером $5.2 \times 5.2 \times 20$ см³ из свинцового стекла марки ТФ-5 с отсутствующими четырьмя центральными счетчиками в месте прохождения пучка [3]. Конструктивные особенности спектрометра, характеристики детектора и отдельных его счетчиков, способы настройки, принципы слежения за стабильностью работы, вопросы, связанные с алгоритмами калибровки, энергетической и геометрической реконструкции событий в спектрометре подробно изложены в работах [3, 4, 5]. В этих работах получены

следующие зависимости энергетического и координатного разрешений спектрометра от энергии:

$$\frac{\sigma_E}{E} = 0.045 + \frac{0.08}{\sqrt{E}},$$

$$\sigma_{x,y} = \frac{0.68 \text{ см}}{\sqrt{E}} \cdot \exp\left(\frac{2x_0}{d}\right),$$

где E — энергия электрона; x_0 — координата электрона относительно границы двух рядов счетчиков, которую пересекает ливень; $d = 5.2$ см — поперечный размер счетчика.

2.2 Адронный калориметр

Годоскопический адронный калориметр с апертурой 140×140 см² представляет собой детектор типа сэндвич, в котором годоскопические сцинтилляционные плоскости прослоены стальными конверторами [6].

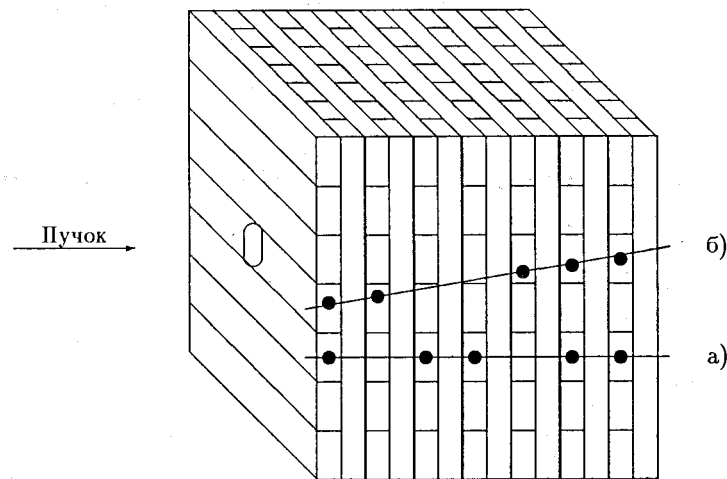


Рис. 2. Адронный калориметр.

Калориметр разделен на семь продольных идентичных секций. В качестве конверторов используются стальные пластины с поперечным размером 140×140 см² и толщиной 2 см. Каждая секция содержит шесть годоскопических плоскостей, собранных из 7 сцинтилляционных пластин длиной 140 см, шириной 20 см и толщиной (по пучку) 0.5 см. В чередующихся годоскопических плоскостях для измерения X - и Y -координат сцинтилляционные пластины располагаются перпендикулярно друг к другу. В центральной части детектора имеется сквозное отверстие диаметром 20 см для пропуска пучка (рис. 2).

Калибровка адронного калориметра проводилась на пучках π^- -мезонов с энергией 25 ГэВ, электронов с энергией 10 ГэВ и широком фоновом пучке мюонов [6, 7]. Сигнал от проникающего мюона в среднем соответствует энергии адрона около 1.7 ГэВ. Разрешение по энергии для адронов:

$$\frac{\sigma_E}{E} = 0.02 + \frac{0.55}{\sqrt{E}},$$

для электронов:

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.38}{\sqrt{E}}.$$

2.3 Мюонный детектор

Для регистрации мюонов предназначен расположенный в конце установки мюонный детектор μH (см. рис. 1), который отделен от адронного калориметра железным поглотителем толщиной ~ 200 см по пучку. Толщина железа выбрана с учетом полного поглощения адронов вследствие ядерных взаимодействий и электронов вследствие радиационных потерь. Детектор представляет собой матрицу из 7×7 квадратных ячеек сцинтиллятора (без центральной ячейки) размером $20 \times 20 \times 0.5$ см³, регистрирующих прохождение мюона.

3 Реакция детекторов установки на различные типы частиц

В качестве обязательного условия регистрации вторичной заряженной частицы требуется попадание ее трека в апертуру SP, HC, μH .

3.1 Мюоны

Для анализа реакции детекторов установки на прохождение мюонов использовалась информация, полученная на широком фоновом пучке мюонов, проходящем через всю установку.

Мюон при прохождении через SP-1 дает характерно малое энерговыделение в одном или двух стеклах спектрометра. Распределение по энерговыделению мюонов в SP-1 показано на рис. 3а. В 65% случаев мюон дает энерговыделение ниже порога (200 МэВ). На рисунке такие случаи не показаны. Вероятность дать энерговыделение больше 0.7 ГэВ — 2.2 %.

В HC мюон в большинстве случаев дает энерговыделение только в тех ячейках, через которые проходит его трек. На рис. 2 показана характерная геометрия энерговыделения в HC от мюона. Можно ввести следующие геометрические критерии, определяющие прохождение мюона через HC:

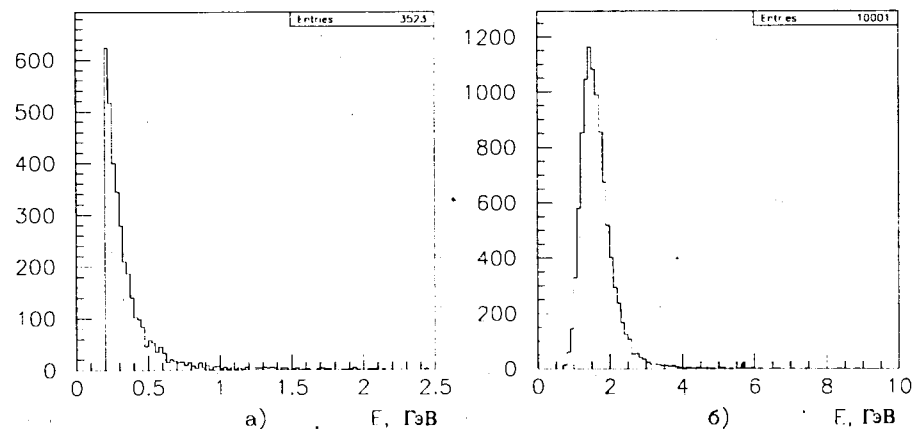


Рис. 3. Распределения по энерговыделению в SP-1 (а) и HC (б) для мюонов.

- Срабатывание одних и тех же ячеек (рис. 2а) или, если трек переходит из одних ячеек в соседние по мере прохождения вдоль калориметра (рис. 2б), срабатывание ячеек вдоль трека. Срабатывания должны быть по меньшей мере в пяти секциях в каждой из проекций X и Y .
- Соответствие пространственного трека, измеренного трековыми детекторами, сработавшим ячейкам.

В случае выполнения этих условий частице присваивается геометрический признак мюона в HC. Такой признак имеют 95% мюонов.

Распределение по энерговыделению мюонов в HC показано на рис. 3б. Вероятность дать энерговыделение больше 3.0 ГэВ — 1.8 %.

Вероятность срабатывания мюонного детектора при прохождении мюона 81 %. Неэффективность мюонного детектора обусловлена несколькими причинами. Во-первых, это неэффективность регистрации самим детектором, во-вторых, часть мюонов ($\sim 3\%$) не попадает в апертуру μH из-за многократного рассеяния. Также следует учитывать тот факт, что низкоэнергетичные мюоны (энергия меньше 3 ГэВ) поглощаются в 2-х метрах железа.

3.2 Электроны

Для анализа реакции установки на прохождение электронов использовалась информация, полученная на пучке электронов с энергией 10 ГэВ. Примесь мюонов в пучке составляет $\sim 20\%$. Распределение по энерговыделению электронов в SP-1 показано на рис. 4а.

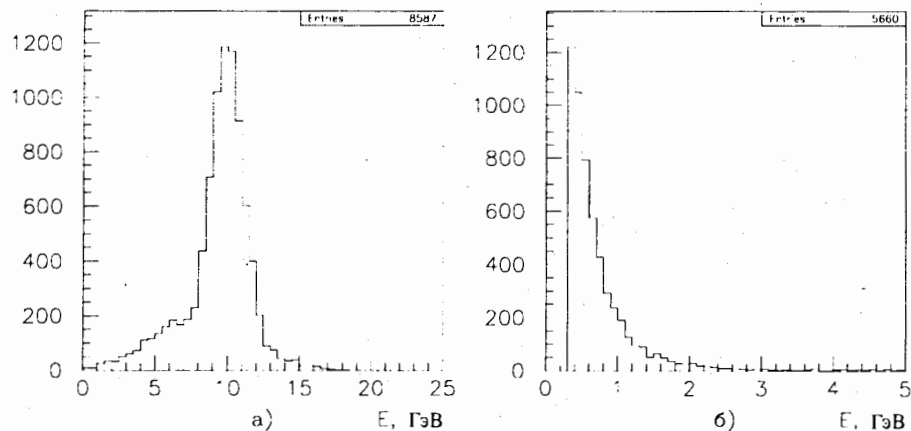


Рис. 4. Распределения по энерговыделению в SP-1 (а) и NS (б) для электронов.

Одним из критериев выделения электронов является совпадение энерговыделения в SP-1 с импульсом, определенным по магнитному спектрометру. Метод вычисления импульса описан в работах [8, 9]. Точность определения импульса в нашем случае составляет 2.5%. Требовалось, чтобы импульс совпадал с энергией в SP-1 в пределах двух ошибок по энергии. Этому критерию удовлетворяет 95% электронов.

При прохождении через SP-1 электрон теряет практически всю энергию. Поэтому в NS энерговыделение от электрона мало. Распределение по энерговыделению от электрона в NS показано на рис. 4б. В 34% случаев электрон имеет энерговыделение ниже порога (300 МэВ). На рисунке такие случаи не показаны. Вероятность дать энерговыделение больше 2.0 ГэВ — 2.2%.

Для выяснения количества электронов, имеющих геометрический признак мюона в NS, строилось распределение по энерговыделению в SP-1 для частиц с таким признаком. Вводя ограничение на энергию (1 ГэВ) с целью исключения из анализа примеси мюонов, получим оценку вероятности наличия геометрического признака в NS для электрона (таблица 1).

Для срабатывания мюонного детектора необходимо, чтобы электрон прошел через SP-1, NS и 2 метра железа. Вероятность такого события пренебрежимо мала. Поэтому вероятность срабатывания μH при прохождении через установку электрона определяется уровнем случайных срабатываний μH . Строилось распределение по энергии в SP-1 для случаев, когда сработал μH . Исключая из рассмотрения события с энергией меньше 1 ГэВ (примесь мюонов), получим оценку вероятности срабатывания μH для электронов (таблица 1).

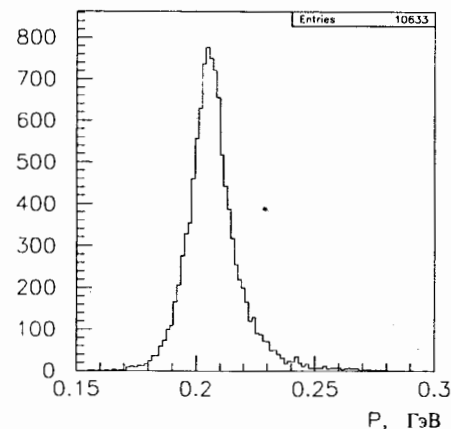


Рис. 5. Распределение по импульсу π^- -мезона в системе покоя K^- -мезона.

3.3 π^- -мезоны

Для изучения реакции детекторов установки на π^- -мезоны использовался калибровочный процесс $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$. Распад $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ выделялся из реальных данных, полученных в условиях триггера: $S1 \cdot S2 \cdot S3 \cdot \bar{C}1 \cdot \bar{C}2 \cdot \bar{C}3 \cdot \bar{S}5$.

Отбирались события с двумя γ -квантами в SP-1 с энергией больше 1 ГэВ. Для них проводился кинематический 5C фит (гипотеза $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$). Для дальнейшего анализа использовались события, прошедшие фит с $P(\chi^2) > 1\%$. Основными фонами для распада $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ являются распады $K^- \rightarrow \mu^- \nu \pi^0$ и $K^- \rightarrow e^- \nu \pi^0$. По нашим оценкам примесь каждого из этих распадов составляет 1.5% [9].

На стадии кинематического анализа применялся нетрадиционный подход к системе обработки данных, в котором в минимизируемом функционале фигурируют непосредственно измеренные координаты [10]. Математический аппарат, развитый в рамках этого подхода и описанный в работах [11, 12], может быть использован при минимизации функционалов со связями не только типа равенств, но и типа неравенств. При проведении кинематического фита нами использовалась новая программа минимизации регулярных функций FUMIVI, позволяющая работать с произвольными ограничениями на область изменения параметров [13].

На рис. 5 приведено распределение по импульсу π^- -мезона в системе покоя K^- -мезона для событий, прошедших 5C-фит. Характеристики распределения:

$$\langle p \rangle = 0.205 \text{ ГэВ}, \quad \sigma \left(\frac{\Delta p}{\langle p \rangle} \right) = 0.040.$$

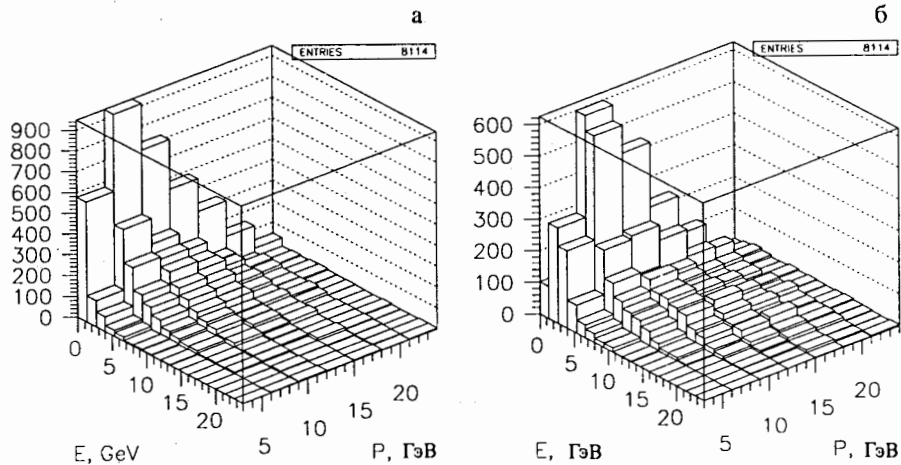


Рис. 6. Совместные распределения по энерговыделению в SP-1 (а) и HC (б) и импульсу для π^- -мезонов.

Получены распределения по энерговыделению в SP-1 для π^- -мезонов в различных интервалах импульсов. Совместное распределение по энерговыделению в SP-1 и импульсу приведено на рис. 6а. На рис. 7а показано распределение для π^- -мезонов с импульсом в интервале $10 \div 12$ ГэВ. В 22% случаев π^- -мезон имеет энерговыделение ниже порога (200 МэВ). На рисунке такие случаи не показаны. Можно оценить вероятность того, что π^- -мезон дает энерговыделение в SP-1 выше (или ниже) определенного порога.

В адронном калориметре π^- -мезон дает широкий ливень. При этом часть адронов может иметь в HC геометрический признак мюона. Распределение по энерговыделению в HC для π^- -мезонов с признаком мюона показано на рис. 8а. Пик в области 1.7 ГэВ — это мюоны из распада $K^- \rightarrow \mu^- \nu \pi^0$ и из распада вторичного π^- -мезона $\pi^- \rightarrow \mu^- \nu$ на пути от распадного объема до адронного калориметра. Эти мюоны необходимо исключить из анализа. Таким образом, 16 % π^- -мезонов имеют геометрический признак мюона.

Для частиц, не имеющих геометрического признака мюона в HC, построено совместное распределение по энерговыделению в HC и импульсу (рис. 6б). На рис. 7б показано распределение по энерговыделению в HC для π^- -мезонов с импульсом в интервале $10 \div 12$ ГэВ. Можно оценить вероятность того, что π^- -мезон дает энерговыделение в HC выше (или ниже) определенного порога. Для изучения реакции мюонного детектора на π -мезоны было построено (см. рис. 8б) распределение по энерговыделению в HC для событий, где имелось срабатывание μ H. Исключив из анализа события в пике (с энергией меньше 3 ГэВ), получим число срабатываний μ H для частиц с признаком адрона в HC.

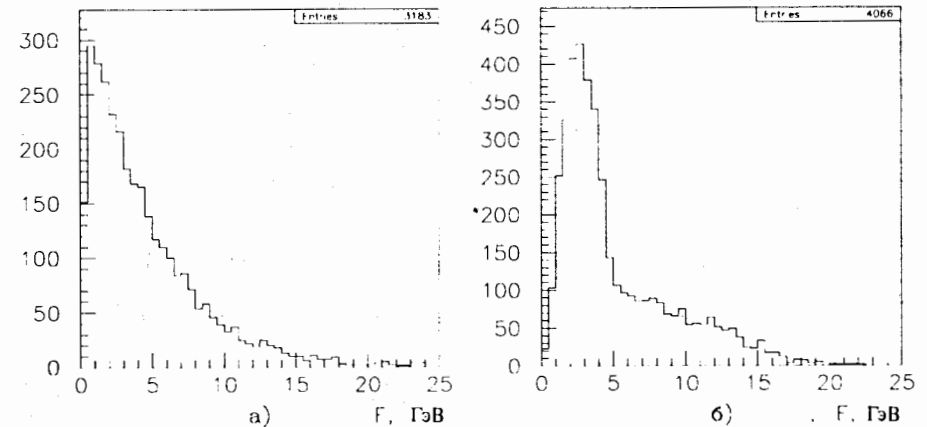


Рис. 7. Распределения по энерговыделению в SP-1 (а) и в HC (б) для π^- -мезонов с импульсом $10 \div 12$ ГэВ.

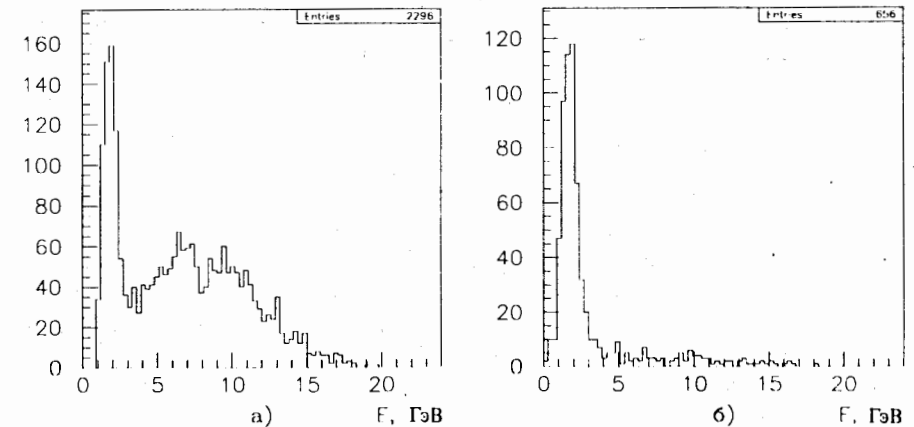


Рис. 8. Распределения по энерговыделению в HC для событий, прошедших фит (гипотеза $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$), с геометрическим признаком мюона в HC (а) и со срабатыванием μ H (б).

4 π, e, μ -режекция

При анализе реакции установки на различные типы частиц мы рассматриваем следующие варианты отклика различных детекторов:

1. Геометрический признак мюона в НС (условие 1) или его отсутствие (условие $\bar{1}$).
2. Срабатывание μ И (условие 2) или отсутствие срабатывания (условие $\bar{2}$).
3. Энерговыведение в НС меньше порога (условие 3), или больше (условие $\bar{3}$).
4. Энерговыведение в SP-1 меньше 0.7 ГэВ (условие 4) или больше 0.7 ГэВ (условие $\bar{4}$).
5. Разность между энергией в SP-1 и импульсом по модулю меньше 2-х ошибок по энергии (условие 5) или больше (условие $\bar{5}$).

Результат изучения реакции детекторов установки можно представить в виде таблицы:

Таблица 1

Тип вторичной частицы	μ^-	e^-	π^-
1. Геометрический признак μ в НС	0.95	$1.0 \cdot 10^{-3}$	0.16
2. Срабатывание μ И	0.81	$6.0 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-2}$
3. Энерговыведение в НС а) < 3 ГэВ	0.98	0.99	0.33
б) < 2 ГэВ	0.83	0.96	0.16
в) < 1 ГэВ	0.08	0.88	0.03
4. Энерговыведение в SP-1 < 0.7 ГэВ	0.98	0.04	0.32
5. Разность энергии в SP-1 и импульса	$1.0 \cdot 10^{-3}$	0.95	$6.0 \cdot 10^{-2}$

При выделении определенного типа частиц необходимо стремиться к максимальному подавлению фона при минимальном снижении эффективности регистрации выделяемого типа. Ниже приводятся некоторые комбинации условий, накладываемых на реакцию детекторов, оптимально, на наш взгляд, удовлетворяющие этим требованиям.

В таблице 2 приведены критерии для выделения мюонов и подавления π^- -мезонов и электронов:

Таблица 2

Критерий / тип	μ^-	π^-	e^-	π/μ	e/μ
1) $1 + 3a + 4$	0.91	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
2) $1 + 2 + 3a + 4$	0.74	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-7}$	$3.7 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-7}$

В таблице 3 приведены критерии для выделения π^- -мезонов мюонов и подавления мюонов и электронов:

Таблица 3

Критерий / тип	π^-	μ^-	e^-	μ/π	e/π
1) $1 + 2 + 3\bar{6}$	0.69	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$4.0 \cdot 10^{-2}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$5.8 \cdot 10^{-2}$
2) $1 + 2 + 3\bar{6} + \bar{5}$	0.65	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$

В таблице 4 приведены критерии для выделения электронов и подавления мюонов и π^- -мезонов:

Таблица 4

Критерий / тип	e^-	μ^-	π^-	μ/e	π/e
1) $1 + 2 + 5$	0.95	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$5.0 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$6.2 \cdot 10^{-2}$
2) $2 + 3\bar{v} + \bar{4} + 5$	0.81	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$3.6 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$

5 Заключение

В работе проведено изучение реакции детекторов установки ИСТРА-М на три типа заряженных частиц. Приведенные энергетические распределения и геометрические характеристики позволяют оценить вероятность прохождения через установку определенного типа частиц. Получены значения величин μ, π, e -режекции для различных пар частиц при средней энергии ~ 10 ГэВ:

- $e/\mu = 4.0 \cdot 10^{-5}$ (эффективность регистрации мюонов 91%),
- $\pi/\mu = 3.7 \cdot 10^{-4}$ (эффективность регистрации мюонов 74%),
- $\mu/\pi = 2.3 \cdot 10^{-3}$ (эффективность регистрации π^- -мезонов 69%),
- $e/\pi = 3.1 \cdot 10^{-3}$ (эффективность регистрации π^- -мезонов 65%),
- $\mu/e = 1.1 \cdot 10^{-5}$ (эффективность регистрации электронов 95%),
- $\pi/e = 1.4 \cdot 10^{-3}$ (эффективность регистрации электронов 84%).

Следует отметить, что при необходимости можно достичь большего подавления фона при уменьшении эффективности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант N95-02-05973).

Литература

- [1] Physical Review D, 1173-1826, 1994, p. 1521÷1533.
- [2] В. М. Артемов, В. П. Болотов, С. А. Волков и др.: *Определение параметров формфакторов λ_+, λ_0 в распаде $K^- \rightarrow \mu^- \nu \pi^0$* . Препринт ОИЯИ, P1-95-330. Цубна, 1995.

- [3] В. Н. Болотов, С. Н. Гниненко, Р. Н. Джилкибаев и др.: *Годоскопический черенковский спектрометр полного поглощения*. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0428. Москва, 1985.
- [4] С. Н. Гниненко, Ю. М. Клубаков, В. Е. Постоев, А. П. Торошин: *Калибровка 480-канального годоскопического черенковского спектрометра установки ИСТРА ИЯИ АН СССР*. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0485. Москва, 1986.
- [5] А. А. Поблагуев: *Экспериментальное изучение радиационного распада пиона $\pi^- \rightarrow e^- \nu_e$* . Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Москва, 1994 г.
- [6] В. Н. Болотов, С. А. Волков, О. П. Гавришук и др.: *Годоскопический адронный калориметр с продольным секционированием*. Препринт ИЯИ-802/93, Москва, 1993
- [7] С. А. Волков, В. К. Семенов: *Мюонная калибровка годоскопических счетчиков адронного калориметра установки ИСТРА*. Препринт ИЯИ АН СССР, 801/93, Москва, 1993.
- [8] A. D. Volkov, A. V. Voskanian, O. G. Voskerchian et al.: *Method for the calculation of charged particle momentum in magnetic spectrometers*. Nucl. Instr. and Meth. **A306** (1991) 278.
- [9] В. М. Артемов, В. Н. Болотов, А. Д. Волков и др.: *Калибровка спектрометрического магнита установки ИСТРА-М на физическом процессе*. Дубна, P10-94-521, 1994.
- [10] A. J. Ketikian, E. V. Komissarov, V. S. Kurbatov, I. N. Silin, *Generalised kinematical fit in event reconstruction*. Nucl. Instr. and Meth. **A314** (1992) 572.
- [11] A. J. Ketikian, E. V. Komissarov, V. S. Kurbatov, I. N. Silin, *New algorithm for minimizing χ^2 functionals with constraints*. Nucl. Instr. and Meth. **A314** (1992) 578.
- [12] A. J. Ketikian, V. S. Kurbatov, I. N. Silin, *New minimization algorithm with constraints*. Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy Physics'92, Geneva, 1992, p.833.
- [13] V. S. Kurbatov, I. N. Silin: *New method for minimizing regular functions with constraints on parameter region*. Nucl. Instr. and Meth. **A345** (1994) 345.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 июля 1995 года.