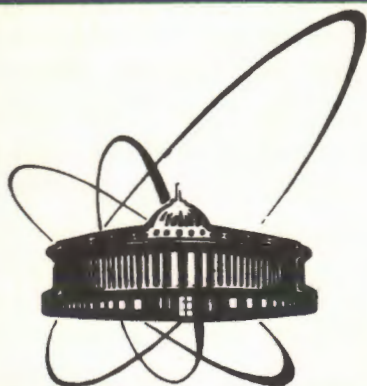


90-218



+

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A-721.

P13-90-218

Ю.М.Антипов*, Ю.П.Горин*, Ю.А.Горнушкин,
Р.Лейтнер, Г.В.Мицельмахер, А.А.Ноздрин,
А.Г.Ольшевский, А.И.Петрухин*

РАЗДЕЛЕНИЕ АДРОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ
В КОМБИНИРОВАННОМ КАЛОРИМЕТРЕ

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Институт физики высоких энергий, Серпухов

1990

Введение

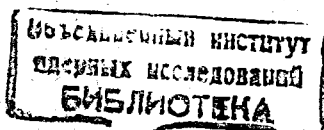
Электромагнитные и адронные калориметры, широко применяемые в экспериментальных установках для исследований в области физики высоких энергий, обеспечивают не только измерение энергии и координат частиц, но также и идентификацию класса частиц, которую трудно осуществить с помощью других методов. Одной из важных задач является разделение адронов и электронов (фотонов), которое основывается, как правило, на пространственных различиях в профилях адронного и электромагнитного ливней, особенно существенных для веществ-поглотителей калориметра с сильно различающимися радиационной и ядерной длинами, т.е. для веществ с большим зарядом ядра^{1,2,3/}.

Принципиальное физическое ограничение на использование этого метода разделения накладывает зарядово-обменная реакция $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p$ (или $\pi^+ n \rightarrow \pi^0 p$), приводящая к имитации электромагнитного ливня. Для пионов с энергией несколько ГэВ сечение этой реакции составляет $\approx 1\%$ от полного неупругого сечения и логарифмически уменьшается с увеличением энергии. Типичные величины e/π разделения составляют $\approx 10^{-3}$ в диапазоне энергий от единиц до нескольких десятков ГэВ^{2/}.

В настоящей работе изучена возможность разделения адронов и электронов (фотонов) при помощи комбинированного годоскопического детектора, состоящего из адронного калориметра типа сэндвича (Fe-сцинтиллятор) и электромагнитного калориметра на основе счётчиков из свинцового стекла и Pb-конвертора.

Экспериментальная установка

Схема комбинированного детектора приведена на рис.1. Годоскопический Fe-сцинтилляционный адронный калориметр^{4/}



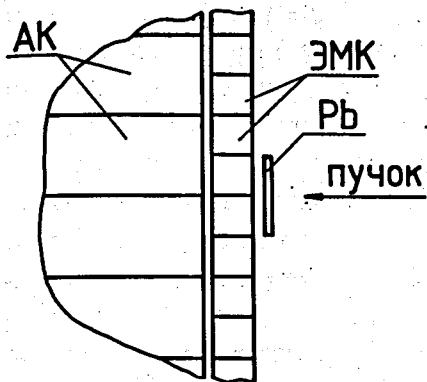


Рис.1. Схема комбинированного детектора: АК - счетчики адронного калориметра; ЭМК - счетчики электромагнитного калориметра; Рб - свинцовый конвертор.

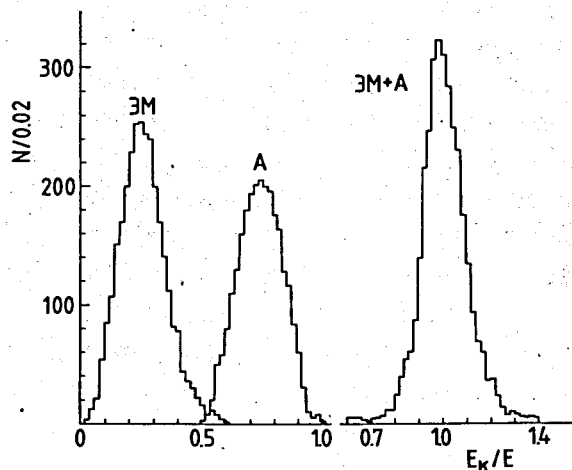


Рис.2. Спектры энерговыведения в электромагнитном (ЭМ), адронном (А) и комбинированном (ЭМ+А) калориметрах для варианта без конвертора. По оси абсцисс отложена величина E_K/E , где E_K - энерговыведение в соответствующем калориметре, E - энергия налетающего электрона, измеренная магнитным спектрометром (≈ 25 ГэВ).

представляет собой матрицу из 12×8 счетчиков (ячеек) полного поглощения с поперечными размерами 20×20 см (полная толщина - 5 длин ядерного взаимодействия, апертура - 4 м^2). Электромагнитный калориметр собран из черенковских счетчиков^{/5/} с радиаторами из свинцового стекла $\Phi 8$ "00" размерами $10 \times 10 \times 42$ см, которые укладывались длинной гранью поперёк пучка (т.е. толщина радиатора в направлении пучка составляет 10 см, ≈ 4 радиационные длины, $\approx 0,2$ ядерной длины). Счетчики собраны в матрицу 5×12 (по горизонтали и вертикали соответственно) с перекрытием 2 см по длине радиатора. Таким образом, апертура электромагнитного калориметра составляет 200×120 см, а размер ячейки 10×40 см. Измерения проводились как с конвертором из свинца толщиной 2 см ($\approx 3,6$ радиационных длин, $\approx 0,12$ ядерной длины), так и без него. Подробности конструкции детекторов и регистрации информации описаны ранее^{/4,5/}.

Измерения проводились на пучке электронов с энергией $E \approx 25$ ГэВ и π^- -мезонов с $E \approx 43$ ГэВ на ускорителе ИФЭВ (установка СИГМА-АЯКС^{/6/}). Адронный и электромагнитный калориметры расположены на установке таким образом, что пучок попадает в области между рядами центральных счетчиков (рис.1). Импульсы частиц измерялись магнитным спектрометром. Область облучения ($\approx 1 \text{ см}^2$) определялась телескопом сцинтилляционных счетчиков.

Калибровка и характеристики комбинированного калориметра

Предварительная калибровка счетчиков адронного^{/4/} и электромагнитного калориметров была проведена на пучках мюонов, пионов и электронов. При обработке информации, полученной при облучении комбинированного калориметра электронами, калибровочные коэффициенты уточнялись путём минимизации суммарного по событиям выражения:

$$\sum [E - (k_{ЭМ} \cdot A_{ЭМ} + k_A \cdot A_A)]^2,$$

где E - энергия электронов, измеренная магнитным

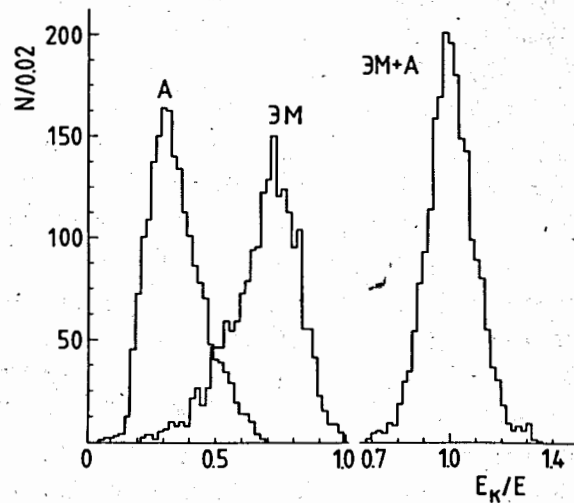


Рис.3. То же, что и на рис.2, для варианта с конвертором.

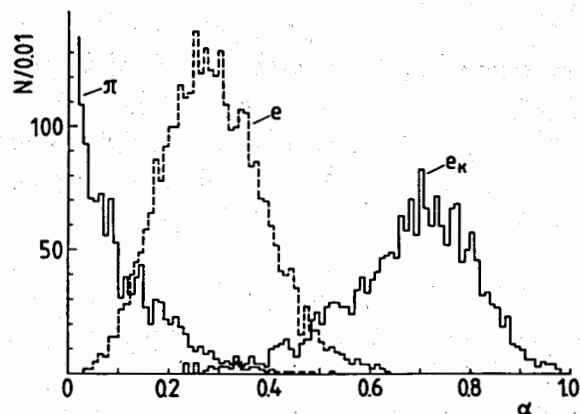


Рис.4. Распределения величины относительного энерговыделения в электромагнитном калориметре $\alpha = E_{ЭМ} / (E_{ЭМ} + E_A)$: распределение π^- - для π^- -мезонов ($E \approx 43$ ГэВ), e - для электронов ($E \approx 25$ ГэВ) в варианте без конвертора, e_k - для электронов в варианте с конвертором.

спектрометром; $A_{ЭМ}$ и A_A - амплитуды сигналов в счётчиках электромагнитного и адронного калориметров; $K_{ЭМ}$ и K_A - соответствующие калибровочные коэффициенты.

На рис.2 приведены спектры энерговыделения в электромагнитном и адронном калориметрах и спектр суммарного энерговыделения. На рис.3' приведены аналогичные спектры, но для варианта с установленным Pb-конвертором (рис.1). Из рисунков видно, что для варианта без конвертора в электромагнитном калориметре выделяется $\approx 1/4$ полной энергии электрона, а при использовании конвертора $\approx 3/4$. Энергетическое разрешение комбинированного калориметра для электронов (см. спектры (ЭМ+А) на рис.2 и 3) с учетом разрешения магнитного спектрометра ($\approx 4\%$) оказывается равным $\sigma_E^e/E \approx 6\%$, то есть получилось практически таким же, как и в случае использования только адронного калориметра^{4/} (при облучении пучком электронов центра ячейки). Напомним, что в настоящих измерениях пучок облучает области вблизи краев ячеек, поэтому при равномерном облучении комбинированного детектора в реальном эксперименте разрешение будет лучше.

Что касается энергетических, а также пространственных характеристик комбинированного детектора для π^- -мезонов (адронов), то они практически не изменяются по сравнению с вариантом использования только адронного калориметра^{4/}, поскольку вещество электромагнитного калориметра составляет $\approx 0,3$ ядерной длины : $0,2$ (счетчик) + $0,1$ (Pb-конвертор).

Разделение электронов и адронов

На рис.4 приведены распределения величины относительного энерговыделения в электромагнитном калориметре $\alpha = E_{ЭМ} / (E_{ЭМ} + E_A)$ (где $E_{ЭМ}$ и E_A - энерговыделение в электромагнитном и адронном калориметрах), соответствующие облучению комбинированного калориметра 43 ГэВ π^- -мезонами и 25 ГэВ электронами (для варианта с конвертором и без него). Эти распределения мало перекрываются и, вводя ограничение по величине α , можно

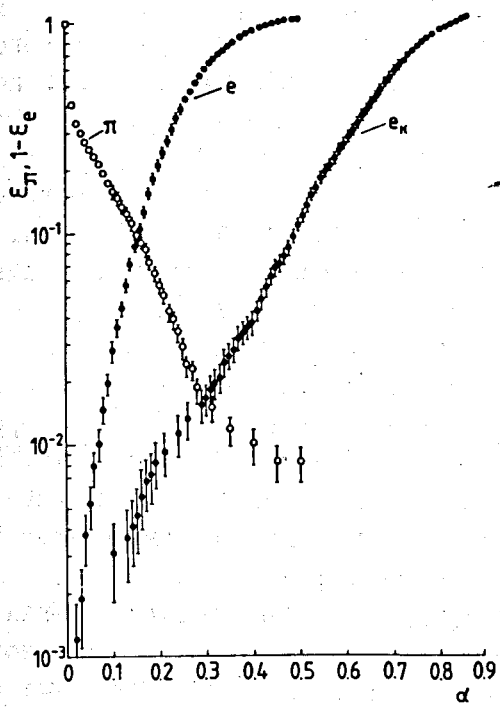


Рис.5. Зависимость эффективности регистрации пионов (ϵ_{π}) и электронов (ϵ_e) от порога по α : π - зависимость для пионов, e_k и e - для электронов для вариантов с конвертором и без него соответственно.

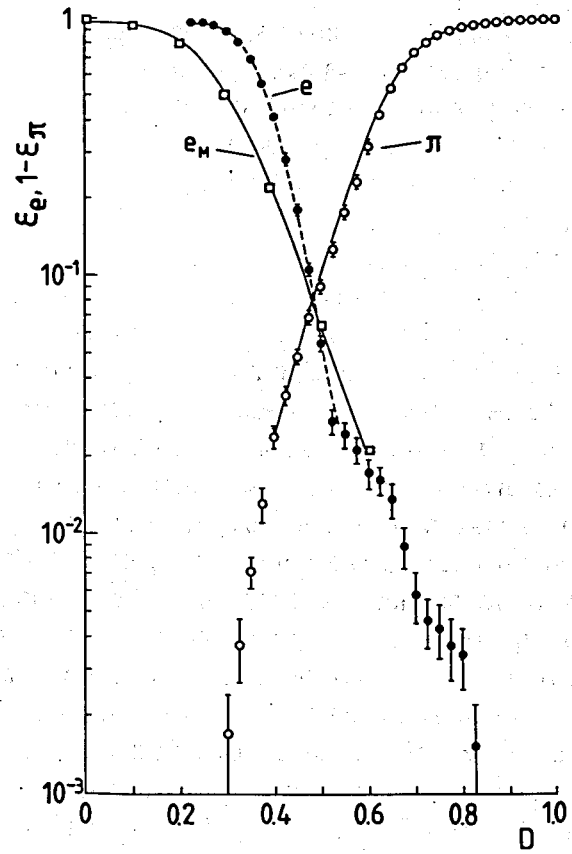


Рис.7. Зависимость эффективности регистрации электронов (ϵ_e) и пионов (ϵ_{π}) от порога по D : π - кривая для пионов, e - для электронов, e_M - для электронов в случае равномерного облучения площади ячейки (моделирование).

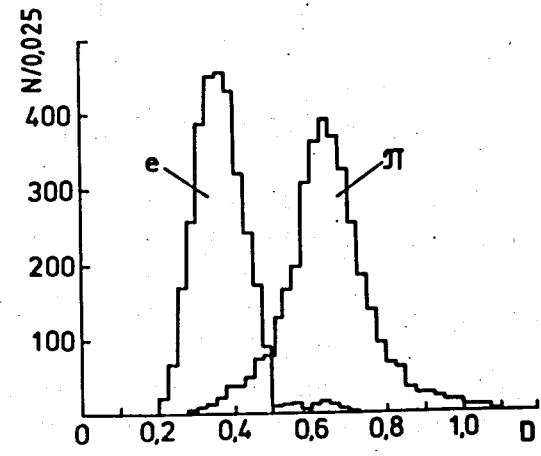


Рис.6. Распределения по ширине ливня D в годоскопическом адронном калориметре для 25 ГэВ электронов (e) и 43 ГэВ пионов (π).

отделять электроны от пионов. На рис.5. представлены полученные из спектров рис.4 зависимости эффективности регистрации электронов и π -мезонов от порога по α . Из этих зависимостей видно, что для варианта без конвертора при эффективности регистрации электронов $\epsilon_e = 0,95$ (критерий $\alpha > 0,12$) подавление пионов составит $\approx 10^{-1}$. Для варианта с конвертором при $\epsilon_e = 0,95$ ($\alpha > 0,4$) пионы подавлены до уровня $\approx 10^{-2}$. Введение для этого варианта обратного критерия ($\alpha < 0,2$) позволяет получить подавление электронов до уровня $\approx 10^{-2}$ при эффективности регистрации пионов $\epsilon_\pi = 0,95$. Таким образом, введение пассивного конвертора (толщиной ≈ 4 радиационные длины), приводящего к смещению максимума энерговыделения электромагнитного ливня на активную часть электромагнитного калориметра, позволяет на порядок улучшить эффективность разделения электронов и адронов.

Дальнейшее улучшение фактора e/π разделения может быть получено при привлечении информации о поперечных размерах ливня^{/3/}, которые для адронных и электромагнитных ливней различаются на порядок величины. Эта информация была получена с помощью годоскопического адронного калориметра. В качестве меры ширины ливня в калориметре использована величина корня из дисперсии $D = (\sqrt{D_x + D_y})/d$, где d - ширина ячейки (20 см); $D_x = \sum_i x_i^2 A_i / \sum A_i$, x_i - расстояние от центра i -й ячейки до координаты центра тяжести ливня, A_i - амплитуда сигнала в ячейке. На рис.6 приведены распределения по ширине ливня D в адронном калориметре, полученные при облучении комбинированного детектора электронами ($E \approx 25$ ГэВ) и пионами ($E \approx 43$ ГэВ). Введение ограничения по D позволяет отделять адроны от электронов. На рис.7 приведены полученные из спектров рис.6 данные об эффективности регистрации электронов и пионов в зависимости от порога по D . По этим кривым видно, что при эффективности регистрации электронов $\epsilon_e = 0,95$ (критерий отбора $D < 0,5$) фактор подавления для пионов составляет $\approx 10^{-1}$. Введение обратного критерия ($D > 0,4$) обеспечивает практически такое же подавление электронов при $\epsilon_\pi = 0,95$.

Отметим, что распределение величины D для электронов сильно зависит от места попадания пучка в ячейку адронного калориметра (для адронов эта зависимость слабая из-за большой ширины адронного ливня). Как уже отмечалось, расположение калориметра на установке СИГМА-АЯКС таково, что пучок (сечением ≈ 1 см²) попадает в области между рядами центральных ячеек. Поэтому было проведено моделирование распределения D для случая равномерного облучения площади ячейки (20 × 20 см) электронами. Соответствующая кривая эффективности представлена на рис.7, из которого видно, что в случае равномерного облучения приведённый выше фактор e/π разделения не ухудшается.

При одновременном использовании двух критериев разделения электронов ($E \approx 25$ ГэВ) и π -мезонов ($E \approx 43$ ГэВ) по относительному энерговыделению в электромагнитном калориметре и по поперечным размерам ливней, уровень разделения составляет $\approx 10^{-3}$ при эффективности регистрации одной из частиц 0,9.

Для частиц с другими энергиями (в диапазоне $\approx 5-50$ ГэВ), для регистрации которых предназначен описанный детектор, уровень разделения будет примерно таким же, так как профили адронного и электромагнитного ливней, на различиях в которых основывается e/π разделение, слабо изменяются с энергией.

Заключение

Дополнение Fe-сцинтилляционного годоскопического адронного калориметра относительно простым электромагнитным калориметром, содержащим 60 счётчиков на основе свинцового стекла при полной апертуре 2,4 м², позволило создать комбинированный детектор, сохраняющий энергетические и координатные характеристики адронного калориметра и обеспечивающий π/e разделение на уровне $\approx 10^{-3}$ при эффективности регистрации одной из частиц 0,9.

Авторы выражают благодарность всему коллективу сотрудничества СИГМА-АЯКС за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fabjan C.W. and Wigmans R.- Report CERN-EP/89-64, 1989.
2. Iwata S.- Report DPNU 3-79, Nagoya Univ., Japan, 1979.
3. Алди Д. и др.- Препринт ИФВЭ 88-1826, Серпухов, 1988; NIM, 1989, v.A276, p.652.
4. Антипов Ю.М. и др.- Препринт ОИЯИ Р13-89-830, Дубна, 1989.
5. Аюпджанов Г.А. и др.-Препринт ИФВЭ 82-97, Серпухов, 1982.
6. Вишневский А.В. и др.- Сообщение ОИЯИ Р1-89-202, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 марта 1990 года.