

С1188 10344

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 87-172
ОЭИУНК

С.И.Битюков, В.К.Семенов, А.П.Яблоков

ХАРАКТЕРИСТИКИ
АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА С ЯЧЕЙСТОЙ СТРУКТУРОЙ
НА ОСНОВЕ ЛИТЬЕВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА

Направлено в ПТЭ

Серпухов 1987

Аннотация

Битюков С.И. и др. Характеристики адронного калориметра с ячеистой структурой на основе литьевого полистирольного сцинтиллятора и цилиндрических световодов-смещителей спектра. Характеристика детектора исследованы на пучке адронов с энергией 25 и 37,5 ГэВ. Детектор позволяет измерять одновременно энергию и координаты нескольких частиц.

Описана конструкция годокопического адронного калориметра с ячеистой структурой на основе литьевого полистирольного сцинтиллятора и цилиндрических световодов-смещителей спектра. Характеристики детектора исследованы на пучке адронов с энергией 25 и 37,5 ГэВ. Детектор позволяет измерять одновременно энергию и координаты нескольких частиц.

Abstract

Bitjukov S.I. et al. Principal Characteristics of Hadron Calorimeter of Cellular Type with Scintillator Mouldings: IHEP Preprint 87-172. - Serpukhov, 1987.-p. 12, figs. 5, refs.: 22.

The construction of a hodoscope hadron calorimeter of cellular type made from scintillator mouldings with cylindrical wavelength shifter read-out is described. The detector characteristics have been studied with 25 GeV and 37.5 GeV hadron beam. The detector enables one to measure the energy and coordinates of several particles simultaneously.

ВВЕДЕНИЕ

Использование спектросмещающих световодов (WLS) для светособирания/1/ позволило создать ячеистые гетерогенные калориметры, аналогичные матричным однородным детекторам типа ГАМС/2/. С помощью WLS осуществляется светосбор со слоев калориметра и тем самым суммируется энерговыделение ливней по глубине калориметра в отдельных ячейках. Путем сравнения энерговыделений в соседних ячейках производится оценка координаты оси ливня в матричной сборке с точностью, определяемой соотношением размера ячейки и характерного поперечного размера регистрируемого ливня/3/. Высокие требования к пространственному разрешению возникают при самостоятельном использовании калориметра без использования прецизионного спектрометра/4/ перед ним. Этими требованиями обуславливается выбор размера ячейки.

В настоящей работе рассмотрены конструктивные особенности и приводятся результаты измерений характеристик полномасштабного адронного калориметра с апертурой 1 м^2 и ячейкой $10 \times 10 \text{ см}^2$, разработанного на основе ранее проведенных исследований/5/. В калориметре использовался полустирольный сцинтиллятор, изготовленный методом литья под давлением/6/. Калориметр предназначен для измерения энергии нейтронов в экспериментах с гиперонными пучками/7/.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ КАЛОРИМЕТРА

Модуль адронного калориметра изображен на рис.1. Поперечное сечение калориметра $1 \times 1 \text{ м}^2$; полный вес около 8 т. Четыре угловые

ячейки заняты стальными шпильками для стягивания слоистого "сэндвича" в монолитную конструкцию, заключенную в светонепроницаемый корпус. Калориметр по пучку содержит 92,5 см железа и 18 см спцинтиллятора. Выбранная аксиальная схема светосбора с использованием цилиндрических WLS^{/8/} позволила изготовить калориметр из цельнометаллических конверторов и избежать значительных трудозатрат, связанных с изготовлением отдельных конверторов, как это имеет место для мелко модульного варианта годоскопического детектора адронов^{/9/}.

Как видно из рис. I, модуль калориметра конструктивно выполнен так, что можно из ему подобных элементов компоновать спектрометры полного поглощения большей апертуры путем пристыковки их друг к другу до образования требуемой конфигурации. Для калибровки отдельных модулей в пучке частиц известного импульса разработана и изготовлена подвижная платформа с электроприводами, обеспечивающими горизонтальное и вертикальное перемещение в пределах ± 1 и $\pm 0,5$ м соответственно.

В калориметре используется полистирольный спцинтиллятор, изготавливаемый в опытном производстве института по высокопроизводительной технологии литья под давлением^{/6/}. Спцинтилляционный свет собирается через расположенные в центре пластика круглые отверстия ($\varnothing 20$ мм), образуемые в процессе его изготовления. Светоизоляция спцинтилляторов друг от друга в одной плоскости осуществляется за счет слоя алюминия, напыленного на их торцевые грани. Напыление алюминия осуществлялось в вакууме на сборки из сотни наназанных на цилиндрический стержень и плотно пристыкованных друг к другу пластин. Для использования света, выходящего через боковые грани спцинтиллятора, боковые стороны конверторов при сборке в "сэндвич" оклеивались алюминизированным майларом, в котором по месту проделывались отверстия для WLS. Это устраняло необходимость обеспечивать светоизоляцию ячеек традиционным ручным обертыванием каждой пластины алюминизированным майларом. Выбранная конструкция калориметра требует высокой степени соосности большого числа отверстий ($\varnothing 21$ мм) в сборке конверторов на метровой базе и прецизионных размеров спцинтилляционных пластин. При изготовлении калориметра это обеспечивалось использованием координатно-расточного станка с ЧПУ и высоким уровнем точности размеров литьевых спцинтилляторов в серийном производстве. Неоднородность светосбора, обусловленная используемой аксиальной схемой^{/8/} и самопог-

лощением света материалом сцинтиллятора, устранялась литевым компенсатором из чистого полистирола, инкрустируемого в сцинтиллятор на стадии его изготовления. Форма компенсатора выбиралась по зависимости неоднородности светосбора от места облучения сцинтиллятора без компенсатора.

В системе светосбора калориметра были проведены испытания спектросмещающих световодов в виде цилиндрических стержней (\varnothing 19 мм) объемного, поверхностного^{/10/} и комбинированного типов с относительной эффективностью преобразования сцинтилляционного света 1; 2; 1,5 соответственно и длиной ослабления переизлученного света (в е раз) 1,3; 4; 1,7 м. Величина 4 м получена за счет использования переменной толщины спектросмещающего слоя вдоль WLS. Применение WLS с большой длиной ослабления света позволяет уменьшить вклад в энергетическое разрешение калориметра флуктуаций в продольном развитии ливня^{/11/}. Изготовление и полировка цилиндрических стержней проводилась токарной обработкой. В качестве исходных материалов для изготовления поверхностных WLS использовался ПММА марки СО-95, а объемные WLS изготавливались из первых отечественных лабораторных образцов ПММА, окрашенных в массу^{/12/}. В качестве люминесцентного красителя (спектросмещающей добавки) использовался 1,5-дифенил-3-стирил-пиразолин^{/13/}. Комбинированные WLS использовались для повышения эффективности светосбора за счет поверхностного окрашивания объемного WLS. Более подробно изучены характеристики ячеек с использованием поверхностных и комбинированных WLS, обладающих большой эффективностью преобразования (за счет использования оптимальных сместителей спектра^{/1/} и лучшей прозрачности для переизлученного света). Оптический контакт между WLS и ФЭУ было решено не использовать, так как при его наличии 30%-ное увеличение сигнала от ливня приводит к уменьшению длины ослабления примерно на такую же величину^{/14/}. Использование зеркального отражения на дальних от ФЭУ торцах WLS позволяет увеличить как сигнал, так и длину ослабления на 30-40%.

Переизлученный WLS сцинтилляционный свет регистрируется ФЭУ-84-3 с диаметром фотокатода 25 мм. Максимум спектральной чувствительности фотокатода (мультищелочного, типа S-20) находится в области пиков полос спектров излучения используемых в WLS сместителей спектра. Для предотвращения перераспределения напряжения питания на диодах ФЭУ в условиях ожидаемой высокой пучковой

загрузки калориметра/15/ последние четыре диода всех ФЭУ объединены общей разводкой и запитаны от отдельных сильноточных выпрямителей. Напряжение питания и подпитки последних диодов подается на ФЭУ через распределительные панели (на рисунке не показаны). ФЭУ, заключенный в магнитный экран из тонколистового отожженного пермалоя со слаботочными делителями напряжения, и распределительные панели размещены внутри отдельного отсека светонепроницаемого корпуса.

Сигналы с анодов ФЭУ по высокочастотным кабелям поступают на аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и заводятся через сопротивление 1 кОм в схему быстрого пассивного линейного сумматора/16/, собранного на распределительных панелях. Суммарный аналоговый сигнал может использоваться для выработки триггера, соответствующего определенному энерговыделению в калориметре.

Контроль за работоспособностью каждого регистрирующего канала калориметра и отслеживание долговременного дрейфа его параметров в ходе эксперимента производится с помощью системы светового мониторинга/2,16,17/. Общая для всех каналов калориметра система мониторинга состоит из источника реперных световых сигналов и многожильных кварцевых световодов (рис.1), с одного конца объединенных в единый коллектор. Торцы коллектора равномерно освещаются источником света, собранного на импульсных полупроводниковых светодиодах, запускаемых перед началом каждого цикла ускорителя генератором с использованием транзистора, работающего в лавинном режиме. Другие концы волоконных световодов, обрамленные алюминиевыми наконечниками, вставлены в отверстия дюралевых пробок (сосновых WLS), завинченных в отверстия на первом стальном конверторе. Таким образом, поступающие через волоконный световод световые импульсы проходят через WLS и регистрируются ФЭУ. Гибкие волоконные световоды заключены в съемный изолирующий кожух со стороны входа пучка в калориметр и их выходные концы могут отсоединяться от калориметра. Разъемная конструкция волоконной оптики позволяет производить предварительную настройку калориметра без пучка, в частности, возможна индивидуальная установка высокого напряжения на каждом ФЭУ для выравнивания сигналов в каждом канале аналогового сумматора с помощью одного последовательного переставляемого волоконного световода/18/.

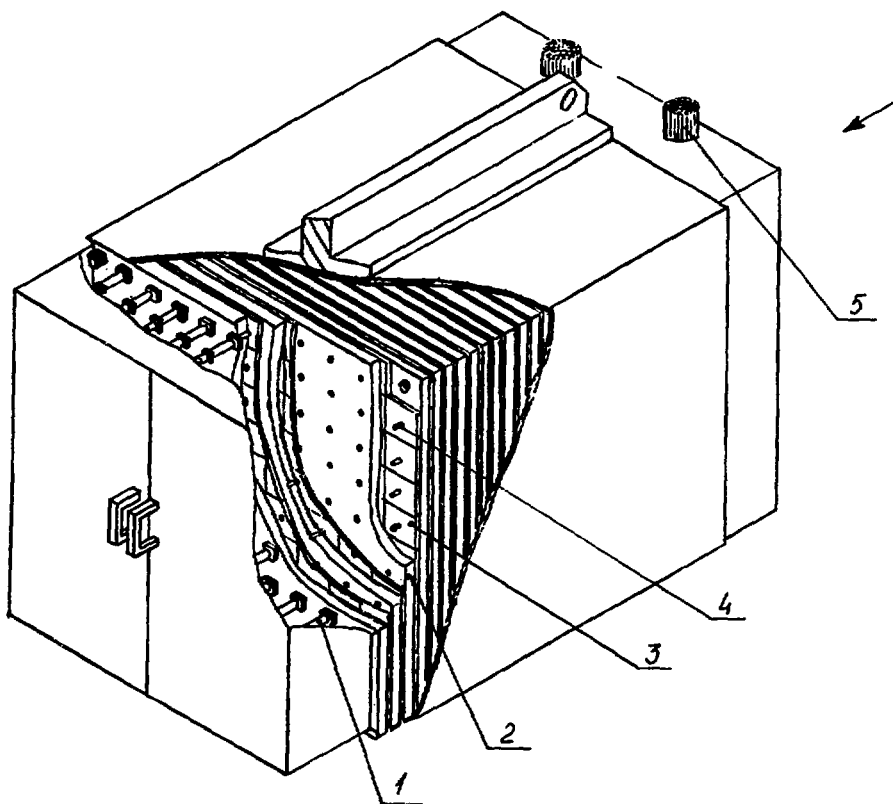


Рис. 1. Схематическое изображение модуля адронного калориметра.
 1 - фотоумножитель ФЭУ-84-3; 2 - стальной конвертор;
 3 - сцинтилляционная пластина; 4 - световод-смещитель
 спектра (WLS); 5 - многожильные кварцевые световоды системы
 светового мониторинга.

2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Пучок и состав экспериментальной аппаратуры, использованные при измерениях, описаны ранее^{/19/}. Координаты падающих частиц определялись при помощи двух сцинтилляционных годоскопов на годоскопических ФЭУ с шириной палки 0,5 см^{/20/}. Измерения проводились при энергиях 25 и 37,5 ГэВ для η -мезонов, электронов и мюонов. Предварительно амплитуды счетчиков калориметра выравнялись регулировкой усиления ФЭУ при регистрации в пучке частиц электронов. Сбор и обработка данных осуществлялись при помощи двухмашинного комплекса ЭЕМ "Электроника-60" - СМ-4^{/21/}. Было записано около $6 \cdot 10^5$ событий.

При обработке событий ливень локализовался в области 5x5 счетчиков (ячеек) калориметра. Амплитуды со счетчиков вне ливня использовались для учета коррелированных флуктуаций величин пьедесталов. Первоначально определялись коэффициенты, с помощью которых выравнивался отклик каждого счетчика на электроны с фиксированной энергией, так как в счетчике 10×10 см² выделяется основная часть энергии электромагнитного ливня. Затем коэффициенты уточнялись по данным, полученным при равномерном облучении ячеек калориметра пучком адронов. Изменение коэффициентов во времени компенсировалось введением поправок, определяемых по изменениям сигналов от светодиодов.

Особенностью калориметра является аксиальная схема светосбора, обусловленная наличием в центре ячейки цилиндрического световодасместителя спектра с присущей ей неоднородностью отклика^{/8/}. На рис.2 приведены спектры амплитуд для η -мезонов и мюонов с энергией 37,5 ГэВ. На этом же рисунке показан спектр адронов, попадающих в область WLS, составляющую около 3% общей площади ячейки калориметра. Отчетливо наблюдается различие в ширине распределений амплитуд адронного сигнала с калориметра. Детальное изучение показало наличие в каждой ячейке радиальной зависимости среднего отклика калориметра. Зависимости основных характеристик детектора от расстояния до центра ячейки показаны на рис.3. Возникающие неоднородности незначительны благодаря конструктивным решениям, описанным выше. Следует отметить, что поведение координатного разрешения для адронных ливней определяется, в основном, размером ячейки и слабо зависит от наличия WLS. Зависимость координаты

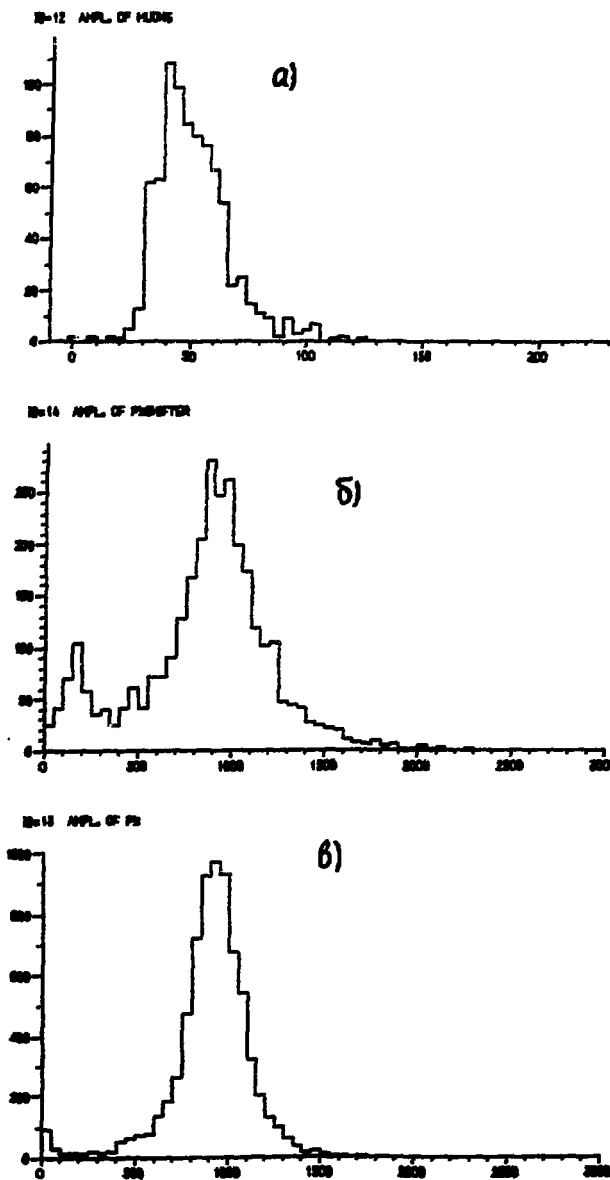


Рис. 2. Амплитудные спектры сигналов калориметров при облучении его ячеек частицами с энергией 37,5 ГэВ. (а) - мюоны вне области WLS; (б) и (в) - π -мезоны, соответственно, в области световода-смещителя спектра и вне его.

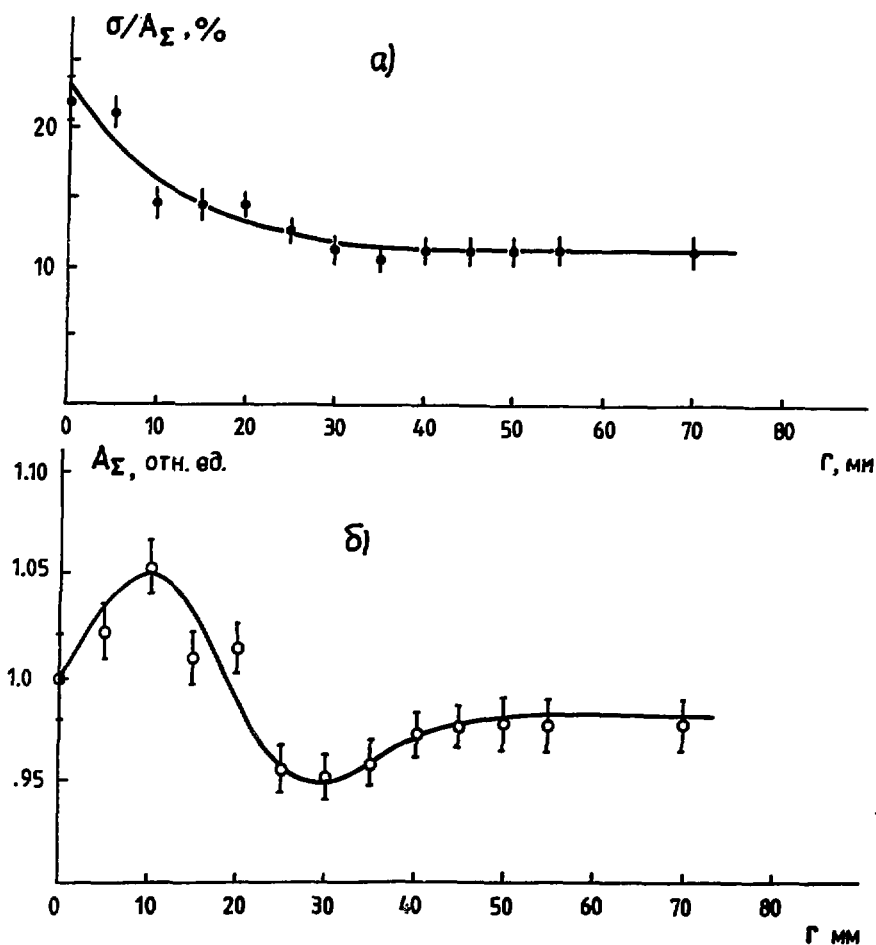


Рис. 3. Зависимости энергетических характеристик calorиметра от расстояния между точкой попадания адрона и центром ячейки. (а) - энергетическое разрешение; (б) - средняя амплитуда отклика.

адрона, определенной по центру тяжести ливня, от координаты, определенной при помощи сцинтилляционного годоскопа, показана на рис.4а. На рис.4б представлены данные по координатной точности калориметра. При увеличении ячейки в два раза путем суммирования сигналов с четырех счетчиков координатная точность ухудшается в 2,3 раза, что близко к значениям, полученным в работе^{/22/} для планарного калориметра. Амплитуда сигналов как для адронов, так и для электронов линейно зависят от энергии. Энергетическая зависимость разрешения калориметра для адронов составляет $\delta_E/E = C,7/\sqrt{E}$ (ГэВ). Поперечное развитие адронного ливня в калориметре (средний профиль ливня) (рис.5) совпадает с результатами, полученными на макете прибора^{/5/}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описана конструкция и приведены основные характеристики адронного калориметра ячеистого типа. При создании калориметра использована новая высокопроизводительная технология изготовления сцинтиллятора. При размере ячейки 10×10 см² калориметр обладает хорошим пространственным ($\delta_y = 14$ мм при энергии 37,5 ГэВ) и энергетическим ($\delta_E/E = 0,7/\sqrt{E}$) разрешением и позволяет регистрировать как заряженные, так и нейтральные адроны в широком диапазоне энергий. Калориметр технологичен в изготовлении и надежен в эксплуатации. Конструкция калориметра позволяет собрать детекторы большой апертуры путем стыковки отдельных модулей сечением 1×1 м².

Авторы считают приятным долгом поблагодарить А.М.Зайцева и Л.Г.Мандсберга за постоянное внимание к данной работе, Б.Л.Саркисова за поддержку при освоении технологии изготовления литейного сцинтиллятора, А.И.Сарайкина, П.Н.Шилова, А.С.Николаева и сотрудников установки ВЕС за всестороннюю помощь в измерениях на пучке частиц, С.А.Малиновскую, В.И.Рыкалина и В.С.Данко за помощь в изготовлении световодов-сместителей спектра, М.Я.Балаца за предоставленную возможность использования системы волоконных световодов.

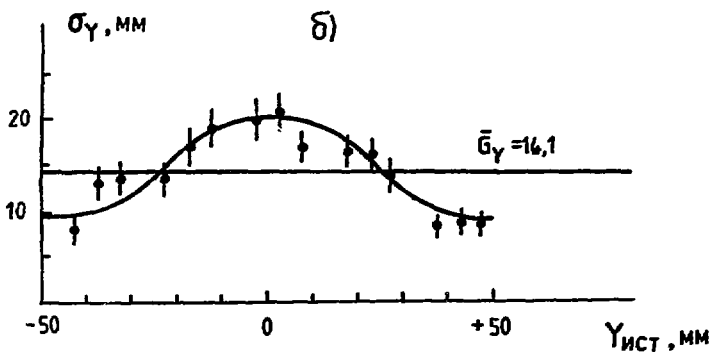
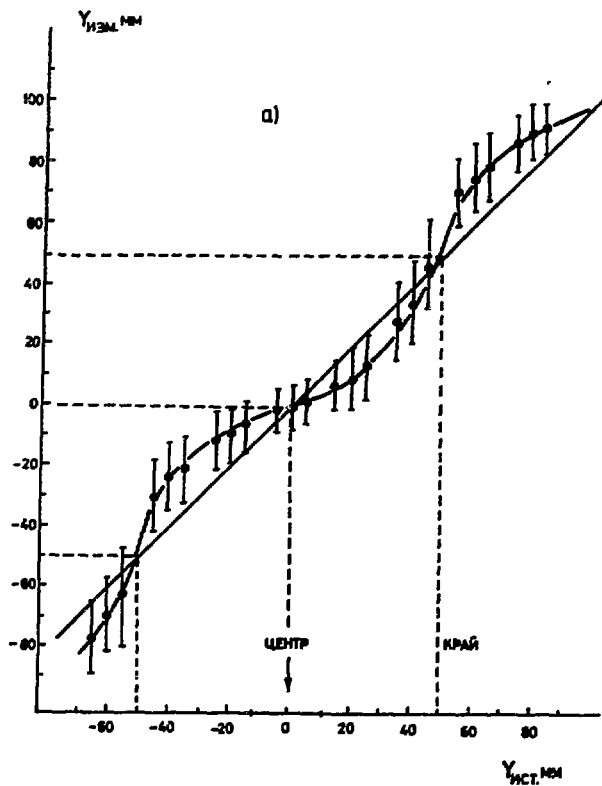


Рис. 4. Пространственные характеристики калориметра в зависимости от координаты адрона в ячейке. (а) - положение центра тяжести энерговыведения адронного ливня (ошибки у точек - $\sigma_{ИЗМ}$); (б) - координатная точность σ_Y .

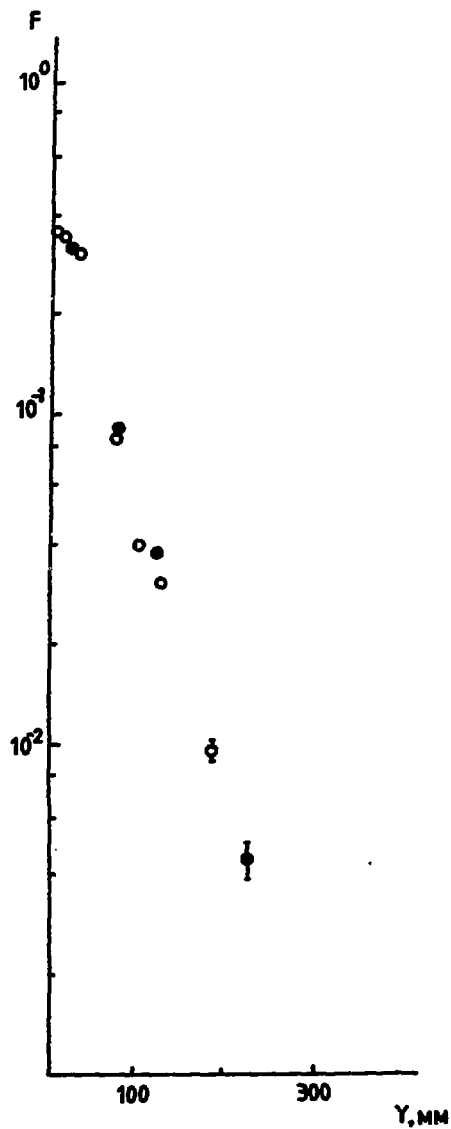


Рис. 5. Зависимость доли полного энергосвечения F адронного ливня в ячейке калориметра от места попадания в нее адрона (средний профиль ливня). \circ - данные настоящей работы, \bullet - результаты, полученные на макете 1/5.

Список литературы

1. Васильев А.Н. и др. Препринт ИФВЭ 82-62. - Серпухов, 1982.
2. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 85-62. - Серпухов, 1985.
3. Битиков С.И. и др. Препринт ИФВЭ 81-45. - Серпухов, 1981.
4. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 86-113. - Серпухов, 1986.
5. Байшев И.С. и др. Препринт ИФВЭ 85-36. - Серпухов, 1985.
6. Семенов В.К. // Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции "Состояние и перспективы разработки и применения сцинтилляторов и сцинтилляционных детекторов в XII пятилетке". - Харьков, 1986. - С.86.
7. Бушнин Ю.Б. и др. Препринт ИТЭТ-138. - Москва, 1976.
8. Eckardt V. et al. // NIM. 1978. V. 155. P. 389.
Боратав М. и др. Препринт ИФВЭ 83-12. - Серпухов, 1983.
9. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 86-109. - Серпухов, 1986.
10. Дацко В.С., Приходько Е.Д., Рахматова В.Б. и др. // Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции "Состояние и перспективы разработки и применения сцинтилляторов и сцинтилляционных детекторов в XII пятилетке". - Харьков, 1986. - С.85.
11. Краснокутский Р.Н. и др. Препринт ИФВЭ 84-182. - Серпухов, 1984.
12. Малиновская С.А., Корниловская Л.Д., Скрипкина В.Т. Световоды-смещители спектра с зеленой областью высвечивания. Получение и исследование оптических и сцинтилляционных материалов: ВНИИ Монокристаллов. - Харьков, 1984. - С.132.
13. Красовицкий Б.М., Болготин Б.М. Органические люминофоры. - М.: Химия, 1984. - С.81-90, 296.
14. Цирлин Ю.А. Светособирание в сцинтилляционных счетчиках. - М.: Атомиздат, 1975.
15. Балдин Б.Ю. Препринт ОИЯИ 13-7859. - Дубна, 1974.
16. Алвакумов И.А. и др. Препринт ИФВЭ 82-49. - Серпухов, 1982.
17. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 80-141. - Серпухов, 1980.
Боратав М. и др. Препринт ИФВЭ 84-50. - Серпухов, 1984.
18. Barber D.P. et al. // NIM. 1977. V. 145. P. 453.
19. Akordzhanov G.A. et al. Preprint INEP 86-62. - Serpukhov, 1986.
20. Васильченко В.Г., Рыкалин В.И. Препринт ИФВЭ 85-153. - Серпухов, 1985.
21. Битиков С.И. и др. Препринт ИФВЭ 87-74. - Серпухов, 1987.
22. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 82-115. - Серпухов, 1982.

Рукопись поступила 27 октября 1987 года.

С.И.Битюков и др.

Характеристики адронного калориметра с ячеистой структурой на основе литьевого полистирольного сцинтиллятора.

Редактор В.В.Герштейн. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Л.Ф.Васильева.

Подписано к печати 9.12.87. Т-24547. Формат 60x90/16.
Офсетная печать. Печ.л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,85. Тираж 260.
Заказ 13. Индекс 3624. Цена 13 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

13 коп.

Индекс 3624

ПРЕПРИНТ 87-172, ИФВЭ, 1987
