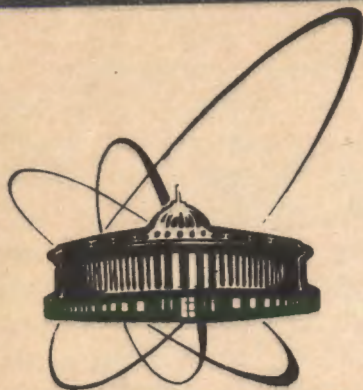


91-538



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-91-538

О.П.Гаврищук, Р.В.Еремеев, М.Г.Кадыков,  
И.Г.Косарев, В.К.Семенов\*, А.Б.Шалыгин,  
А.Н.Юкаев

КООРДИНАТНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АДРОННОГО  
СЭМПЛИНГ-КАЛОРИМЕТРА АК-600

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"

\*Институт физики высоких энергий, Протвино

1991

Адронный калориметр АК-600 создается для экспериментов на комплексе "Меченые нейтрино" (КМН) ускорителя У-70 (ИФВЭ, Протвино). Калориметр содержит 600 автономных модулей, радиально расположенных вокруг оси пучка и собранных в матричную сборку диаметром 4 метра. Ожидается, что центральная часть калориметра будет сильно загружена вторичными и непрореагировавшими с мишенью пучковыми частицами. Поэтому с целью улучшения пространственного и временного разрешения детектора при высокой нагрузке в центральной его части предполагается использовать модули размером 75×75 мм.

В предыдущих работах /1-2/ были приведены характеристики модульного адронного калориметра с сэмплинг-структурой 20 мм стали и 5 мм сцинтиллятора /3/ (размер ячейки 150×150 мм). Каждый модуль калориметра состоял из 40 слоев (сталь+сцинтиллятор) общей длиной 100 см, что соответствует примерно 4,7 ядерным длинам.

Конструкция модуля с размером 75×75 мм и технология изготовления его элементов аналогичны описанным в работе /1/ для ячейки 150×150 мм. Размер сцинтиллятора, используемого в модуле, 72×68 мм, размер световода-смещителя спектра (WLS) 1200×70×3 мм.

В настоящей работе приводятся пространственные характеристики центральной части адронного калориметра АК-600, экспериментально измеренные в пучках  $\pi^-$ -мезонов с энергией 40 ГэВ. Кроме того, проведено сравнение с аналогичными данными, полученными при исследовании адронных калориметров с ячейками 150×150/1/ и 200×200 мм /4/.

В данной работе координаты точки входа адрона в калориметр измерялись прецизионной двухкоординатной пропорциональной камерой с шагом 1,0 мм /5/. Коэффициенты, необходимые для выравнивания сигналов с каждого модуля, были получены при калибровке калориметра в  $\pi^-$ -мезонном пучке.

Координаты адрона  $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$ , определенные по центру тяжести энерговыделения ливня (П.1-формула (1) в Приложении) в модулях калориметра /6/, являются смещенными оценками /7/ истинных координат  $(x, y)$ , измеряемых в нашем случае пропорциональными камерами. В качестве иллюстрации на рис.1 приведены зависимости  $\langle x \rangle$  от  $x$  (П.2) для калориметров с различным размером ячеек. Зависимости, обратные этим (П.3), используются для коррекции

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

систематических смещений, отмеченных выше. Амплитуда отклонения измеренных координат от истинных ( $\Delta$ , мм) зависит от ширины ячейки калориметра ( $h$ , мм) следующим образом:

$$\Delta = ((0,030 \pm 0,003) \cdot h)^2. \quad (I)$$

Зависимость (I) получена из анализа данных /1,4,8/ и настоящей работы для стальных адронных калориметров при энергии примерно 40 ГэВ и довольно хорошо согласуется с расчётом (П.6). Абсолютное значение смещения (I) сравнивается с дисперсией ячейки ( $\sqrt{D_{яч}} = h/\sqrt{12}$ ) при  $h \approx 320$  мм.

Координатная точность измерялась путём сравнения поправленной координаты с истинной. Данные по координатной точности  $\sigma_x$  ( $\sigma_y$ ) калориметра с ячейкой 75 мм в зависимости от координаты точки входа адрона приведены на рис.2. Величина  $\sigma_x$  в центре и на краю ячейки составляет соответственно 10 и 14 мм, а усреднённое значение по всей площади равно  $11,2 \pm 0,5$  мм. Эта величина в 1,5 раза меньше по сравнению с разрешением для ячейки 150 мм /1/. Как видно из рис.2, наличие WLS на стыке модулей практически не ухудшает координатное разрешение калориметра.

На рис.3 приведена зависимость усреднённой по ячейке калориметра координатной точности от ширины ячейки. Экспериментальные данные для адронных калориметров с модульной и планарной структурой /1,8,9/ довольно хорошо описываются одной и той же зависимостью /7/:

$$\sigma \approx \sigma_0 \cdot \exp(h/4b), \quad (2)$$

где  $b$  характеризует ширину поперечного энерговыделения каскада (П.1), а  $\sigma_0$  определяется среднеквадратичным отклонением частиц адронного каскада от его оси. Значения параметров  $b$  в (2) для используемой сэмплинг-структуры составляют соответственно примерно 30 мм /1,7/ и 6 мм. Формула (2) хорошо описывает экспериментальные данные для  $h/b \geq 4$ . Для меньших значений  $h$  надо использовать точную зависимость (П.7). Универсальность описания (2) координатной точности обоих типов калориметров ещё раз подтверждает независимость  $\sigma_x$  от использования WLS в системе светосбора.

Изменение параметра  $\sigma_0$  в формуле (2) с энергией прослежено в /9/ и описывается зависимостью:

$$\sigma_0 = (3,6 \pm 0,2) \cdot (E/100 \text{ ГэВ})^{-1/2}. \quad (3)$$

Координатное разрешение (2) достигает величины  $h/\sqrt{12}$  при  $h = 300$  мм.

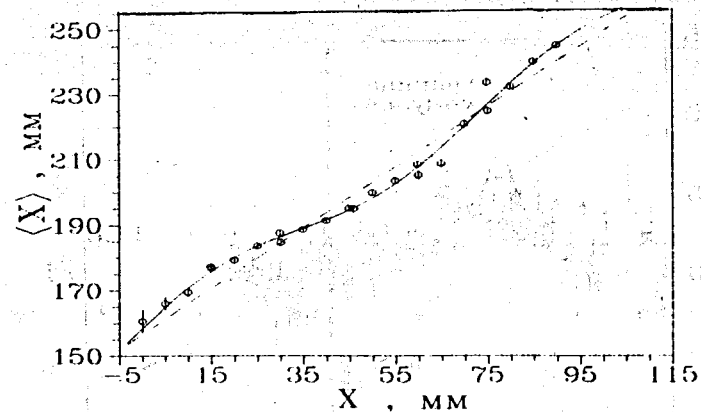
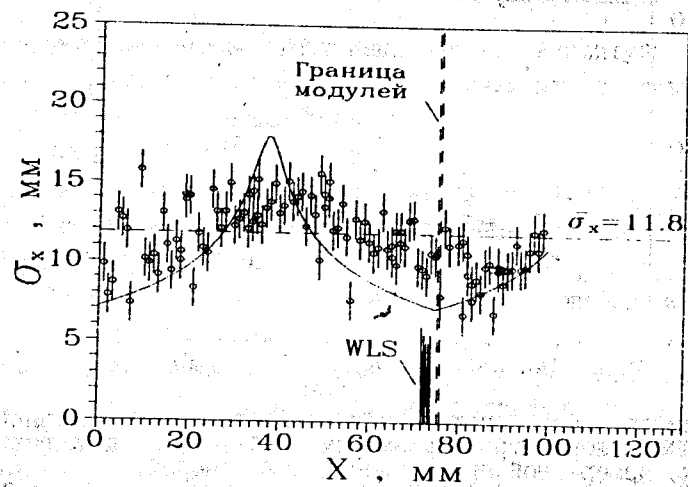


Рис.1. Зависимость координаты центра тяжести адронного ливня  $\langle x \rangle$ , определённой в калориметре с размером ячейки  $h$ , от истинной координаты  $x$ , измеренной пропорциональной камерой. Экспериментальные точки:  $\circ$ — $h=75$  мм,  $\times$ — $h=150$  мм /1/,  $\Delta$ — $h=200$  мм /12/. Кривая — расчёт по формуле (П.2) при  $b=22 \pm 5$  мм для  $h=75$  мм.

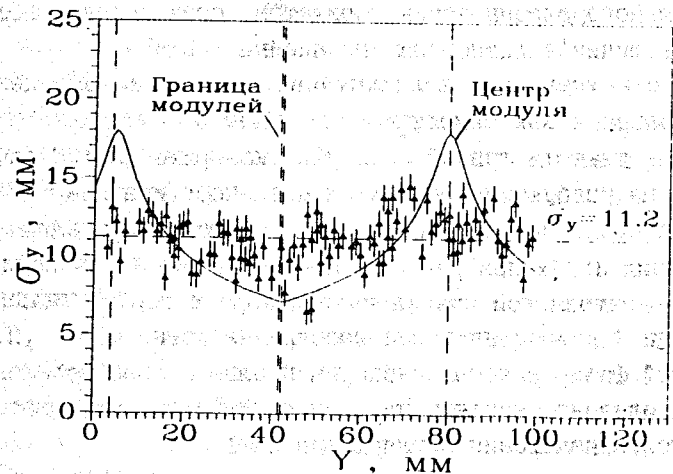
Т.о., при  $h \approx 300$  мм, как следует из (1) и (2), координатная точность модульного адронного калориметра практически полностью определяется величиной дисперсии его ячейки ( $\sqrt{D_{яч}}$ ).

Следует отметить, что величину  $b$  в (П.1) можно определять путем как фитирования зависимости  $\langle x \rangle$  от  $x$ , так и измеренного распределения центров тяжести ливней по ячейке калориметра ( $dN/dx$ ). Для его измерения не требуются дополнительные координатные детекторы (годоскопы или пропорциональные камеры). На рис.4 приведены результаты измерения  $dN/dx$  при равномерном облучении  $\gamma$ -мезонами примерно половины центральной ячейки калориметра в горизонтальном направлении. Плавной кривой на рис.4 изображена зависимость (П.11), с помощью которой фитировалось экспериментальное распределение. В результате определено значение параметра  $b=22 \pm 05$  мм, которое в пределах точности измерения согласуется с /1,7/.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Кочеткову за постановку задачи и плодотворные обсуждения, В.В.Кухтину и Э.И.Мальцеву за поддержку при проведении исследований, коллективу сотрудников установки МИС ИТЭФ за предоставление аппаратуры для измерений и времени на пучке частиц, сотрудникам установки ИСТРА В.В.Исакову и Ю.И.Муслиенко за предоставление пропорциональных камер и помощь при их эксплуатации, а также сотрудникам ЛСВЭ ОИЯИ, принимавшим участие в инженерно-технических работах по изготовлению и исследованию прототипов АК-600.



а



б

Рис.2. Зависимость координатной точности калориметра ( $h=75$  мм) от координаты точки попадания адрона в ячейку: а)  $\sigma_x(x)$ ; б)  $\sigma_y(y)$ . Кривые - расчёт по формуле (П.8).

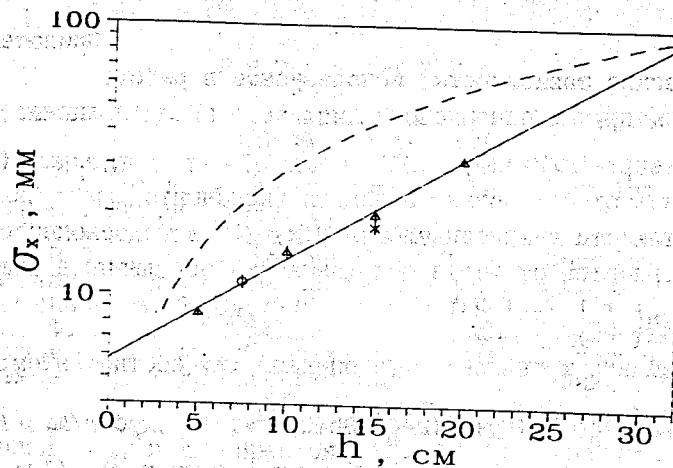


Рис.3. Зависимость усреднённой по ячейке калориметра координатной точности  $\sigma_x$  от ширины ячейки  $h$ . Экспериментальные данные:  $\circ$ -настоящая работа,  $\times$ -/1/,  $\Delta$ -/8,9/. Сплошная линия - формула (2), пунктир -  $h/\sqrt{12}$ .

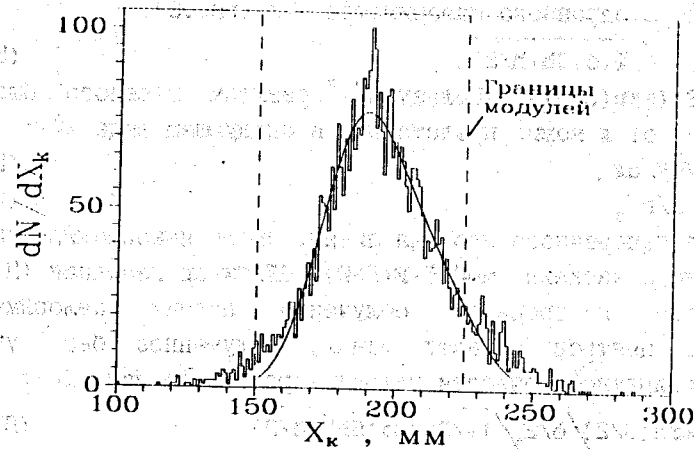


Рис.4. Распределения центров тяжести ливней ( $dN/dx_k$ ) вдоль калориметра ( $x$ ) при равномерном облучении  $\pi$ -мезонами с энергией 40 ГэВ половины центральной ячейки. Зависимость (П.11) при  $b=22\pm 5$  мм с пределами интегрирования:  $0 \ll \xi \ll h/2$  - сплошная линия;  $h/2 \ll \xi \ll h/2$  - пунктир.

Приложение

Аналитические зависимости, используемые в работе

Рассмотрим случай одноэкспоненциального профиля ливня:

$$F(x) = \frac{1}{2b} \exp(-|x/b|) \quad (П.1)$$

где  $x$  - расстояние от оси ливня,  $b$  - наклон экспоненты (см). Зависимость центра тяжести энергодвделения  $F(x)$  /7/ в годоскопической структуре калориметра от места положения ( $x$ ) оси ливня в ячейке:

$$\langle x \rangle = \frac{h}{2} \times \text{Sh}\left(\frac{x}{b}\right) / \text{Sh}\left(\frac{h}{2b}\right), \quad |x| \leq h/2 \quad (П.2)$$

Истинная координата  $x$  связана с её оценкой  $\langle x \rangle$  соотношением:

$$x = \frac{h}{\delta} \times \ln\left[2 \frac{\langle x \rangle}{h} \times \text{Sh}(\delta) + \sqrt{\left(2 \frac{\langle x \rangle}{h} \times \text{Sh}(\delta)\right)^2 + 1}\right], \quad \delta = h/b \quad (П.3)$$

Смещение  $|\langle x \rangle - x|$  достигает максимума в точках /I0, II/:

$$\langle x \rangle_{\max} = \pm h \times \left[ \frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\text{Sh}^2(\delta)} \right]^{1/2} \quad (П.4)$$

$$x_{\max} = \frac{h}{\delta} \times \ln\left[ \frac{\text{Sh}(\delta)}{\delta} + \sqrt{\left(\frac{\text{Sh}(\delta)}{\delta}\right)^2 - 1} \right] \quad (П.5)$$

$$|\langle x \rangle - x|_{\max} = h \times (-0,0025 + 0,285 \times \delta), \quad 2 \leq \delta \leq 7 \quad (П.6)$$

Зависимость координатной точности  $\sigma_x$  в центре ячейки от размера ячейки  $h$  адронного калориметра /7/ (рис.3):

$$\sigma_x(h) = \sigma_0 \sqrt{\Psi(\delta) \text{Sh}(h/2)}, \quad (П.7)$$

где  $\Psi(\delta) = 1 + 2/(\exp(\delta) - 1)$ . Пользуясь правилом переноса ошибок, зависимость  $\sigma_x$  от  $x$  можно представить в следующем виде /7/:

$$\sigma_x = \sigma_{\langle x \rangle} / \frac{dF}{dx}, \quad (П.8)$$

где  $\sigma_{\langle x \rangle} = \sqrt{D/n}$ , (П.9)

$D$  - дисперсия поперечного профиля ливня, число некоррелированных частиц адронного каскада  $n \approx 0,5 \times E(\text{ГэВ})$ ,  $dF/dx$  - производная (П.1).

В случае изотропного облучения ячейки калориметра распределение центров тяжести ливня, полученное без учёта конечной координатной точности калориметра, имеет вид /I0/:

$$dN/d\langle x \rangle = \text{Sh}(\delta/2) / \delta/2 \sqrt{1 + \langle 2x/h \rangle^2 \text{Sh}^2(\delta/2)} \quad (П.10)$$

С учётом зависимости координатной точности  $\sigma_{\langle x \rangle}$  от  $\langle x \rangle$  формула (П.10) преобразуется следующим образом:

$$dN/d\langle x \rangle = \int dN/d\langle \xi \rangle \times G\langle x \rangle (\sigma_{\langle \xi \rangle}) d\langle \xi \rangle \quad (П.11)$$

где  $G$  - распределение Гаусса с величиной среднеквадратичного отклонения  $\sigma_{\langle \xi \rangle}$ ,  $\langle \xi \rangle$  изменяется в пределах  $h$ .

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н.Алеев и др. - Препринт ОИЯИ Р1-89-434, Дубна 1989, ПТЭ №5, 1990, с.60.
1. О.П.Гавришук и др. - Препринт ОИЯИ Р1-90-227, Дубна 1990.
2. Aleev A.N. et al. - Proceedings of the III-rd Int. Sym. HEXAM-89, Prague, 1989, p.65.
3. М.Г.Кадьков и др. - Препринт ОИЯИ 13-90-16, Дубна 1990.
4. Дацко В.С. и др. - Препринт ИФВЭ 87-85, Серпухов 1987.
5. H.Kalmor et. al. - The technology of production of narrow gap wire chambers. To be published in NIM.
6. Бинон Ф. и др. - Препринт ИФВЭ 79-128, Серпухов, 1979.
7. Битюков С.И. и др. - Препринт ИФВЭ 81-45, Серпухов, 1981.
8. Битюков С.И. и др. - Препринт ИФВЭ 87-172, Серпухов, 1987. ПТЭ №4, 1989, с.58.
9. Бинон Ф. и др. - Препринт ИФВЭ 82-115, Серпухов, 1982.
10. Донсков С.В. и др. - Препринт ИФВЭ 76-109, Серпухов, 1976.
11. Е.Янке и др. - Специальные функции., М., Наука, 1968, с.32.
12. Бинон Ф. и др. - Препринт ИФВЭ 86-109, Серпухов, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 декабря 1991 года.