

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-89-434

A 458

А.Н.Алеев, Л.Александров, В.П.Баландин,  
Е.В.Белякова, О.П.Гавришук, Т.С.Григалашвили,  
В.С.Дацко \*, Р.В.Еремеев, М.Г.Кадыков,  
И.Г.Косарев, В.Г.Кривохижин, Н.А.Кузьмин,  
В.В.Кухтин, Р.Ледницки, С.Немечек, В.Г.Одинцов,  
Д.В.Пешехонов, Ю.М.Пищальников \*, И.А.Савин,  
В.К.Семенов\*, Г.И.Смирнов, В.И.Суздаев\*,  
А.Б.Шабун, А.Б.Шалыгин, Я.Шкваржил,  
Г.А.Ярыгин

ХАРАКТЕРИСТИКИ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА  
УСТАНОВКИ "МЕЧЕННЫЕ НЕЙТРИНО"

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"  
и на Международную конференцию НЕХАМ-89, ЧССР

---

\* Институт физики высоких энергий, Протвино

Алеев А.Н. и др.

P1-89-434

Характеристики адронного калориметра  
установки "Меченые нейтрино"

Представлены характеристики адронного калориметра модульного типа установки "Меченые нейтрино". Измерения проведены на пучке пи-минус мезонов с импульсом 37,5 ГэВ/с. В измерениях использовалась матричная сборка из 16 модулей. Исследованы зависимости энергетического и пространственного разрешения от места попадания в калориметр. Калибровка калориметра выполнена на мюонах с энергией  $\geq 5$  ГэВ. Описана конструкция отдельного модуля, имеющего размеры 0,15x0,15x1,42 м<sup>3</sup>.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Aleev A.N. et al.

P1-89-434

The Characteristics of Hadron Calorimeter  
of Tagged Neutrino Beam Facility

The characteristics of a cell type hadron calorimeter of Tagged Neutrino Beam Facility are presented. The measurements are fulfilled on  $\pi^-$ -mesons beam with momentum 37.5 GeV/c. The matrix setup of 16 modules was used. Some dependencies of energy and space resolutions of the calorimeter on the impact point of an incident particle have been studied. A calibration of the calorimeter was done using muons with the energy of 5 GeV. A module construction with dimensions 0.15x0.15x1.42 m<sup>3</sup> is presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989

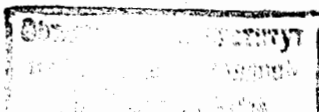
## 1. ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена в рамках создания установки "Комплекс меченые нейтрино" /КМН/<sup>1/</sup>, которая реализуется в ИФВЭ /Протвино/ на ускорителе У-70. Модульный адронный калориметр является одним из детекторов установки, способным одновременно определять координаты и энергию в диапазоне 20-60 ГэВ для большого числа адронов. Прототипы калориметров подобного типа успешно используются на адронных пучках с энергией от 20 ГэВ /ИФВЭ/ до 300 ГэВ /ЦЕРН/<sup>2/</sup>.

В нашей работе приводятся результаты измерения физических параметров, полученных при работе со сборкой из 16 модулей на пучке пи-минус мезонов с импульсом 37,5 ГэВ/с. Калибровка производилась на широком мю-мезонном пучке с импульсом  $\geq 5$  ГэВ/с. Впервые использовался сцинтиллятор размером 150x150 мм<sup>2</sup>, толщиной 5 мм, изготовленный методом литья под давлением. При изготовлении световода со сместителем спектра формирование витой его части выполнялось оптимальным с точки зрения светосбора образом - методом горячей формовки. Это сводит к минимуму потери света в месте сужения и состыковки световода с ФЭУ.

## 2. КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЯ КАЛОРИМЕТРА

Отдельный модуль представляет собой сборку сандвич: сцинтиллятор - железо размером 150x150 мм<sup>2</sup> /рис. 1/, помещенную в светозащитный кожух из листового железа толщиной 1,5 мм. Железные пластины толщиной 20 мм каждая в количестве 40 штук образуют поглотитель протяженностью 80 см, что соответствует 4,7 ядерных длин. Между пластинами поглотителя установлены сцинтилляторы размером 146x142 мм<sup>2</sup>, толщиной 5 мм каждый. Сцинтилляторы изготовлены в виде пластин необходимого размера в промышленных условиях методом литья под давлением<sup>3/</sup> из гранул полистирола со сцинтиллирующими добавками. Сцинтиллятор обладает высоким световыводом /аналогично пластическому сцинтиллятору ЭПС-1; полученному в ИФВЭ методом экструдирования<sup>4/</sup>/. Для повышения светосбора каждая пластина обертывалась алюминизированным майларом, а для улучшения однородности светосбора ее ближний к световоду край обертывался черной лентой.



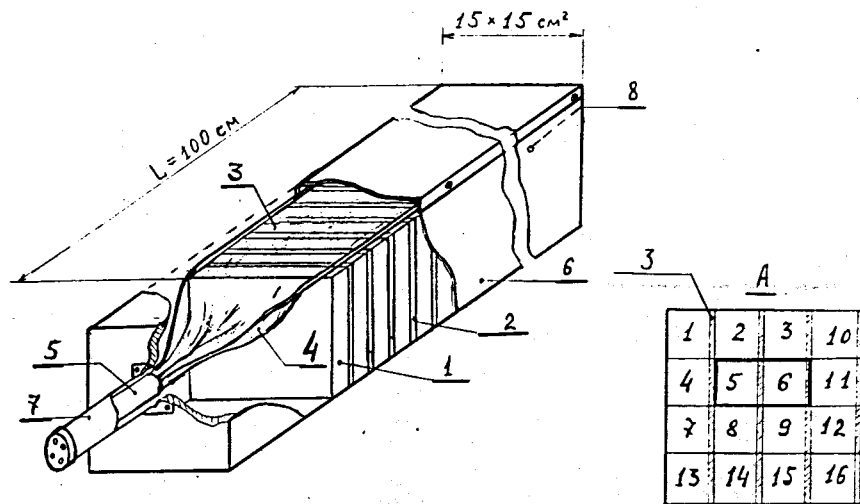


Рис. 1. Конструкция модуля адронного калориметра: 1 - пластина стального поглотителя размером  $150 \times 150 \times 20$  мм, 2 - пластиковый сцинтиллятор размером  $142 \times 146 \times 5$  мм<sup>3</sup>, 3 - световод с поверхностным переизлучателем-сместителем спектра, 4 - витая часть световода, 5 - ФЭУ-84-3, 6 - корпус модуля, 7 - корпус ФЭУ, 8 - светодиод типа АЛ-307. А - схематическое расположение модулей адронного калориметра по пучку пи-мезонов.

Световоды, собирающие свет на фотоэлектронные умножители /ФЭУ/, изготовлены нами в лабораторных условиях из листов органического стекла толщиной 2,5-3,2 мм. Переизлучатель наносился на световод только в зоне расположения сцинтилляторов, а ближняя к ФЭУ его часть не окрашивалась. Окраска производилась методом погружения в спиртовой раствор, содержащий спектроросмещающую добавку<sup>/5/</sup>. Люминофор на глубине световода порядка 5 мкм образовывал поверхностное покрытие. Интенсивность покрытия варьировалась по длине с целью получения максимальной однородности светосбора.

После окраски формировалась витая часть световода для стыковки его с ФЭУ. Формовка производилась с помощью специального приспособления при разогреве органического стекла выше температуры стеклования. Сформованный и отторцованный световод, готовый к установке в калориметр, проверяли на однородность светосбора по длине.

В работе с модулями калориметра применялись ФЭУ типа ФЭУ-84-3 с мультищелочным /Sb-Ka-Cs/ фотокатодом, максимум

квантовой чувствительности которого соответствует длине волны 460 нм, что хорошо согласуется со спектром излучения люминофора на световоде.

### 3. КАЛИБРОВКА КАЛОРИМЕТРА

Для отслеживания временной нестабильности каналов калориметра использовались светодиоды АЛ-307. Амплитуды светодиодных сигналов устанавливались, примерно, в соответствии с сигналом от адронов с энергией  $\sim 30$  ГэВ.

Калибровка калориметра проводилась на широком мюонном пучке с импульсом  $\geq 5$  ГэВ/с. Сигналы от отдельных модулей при мю-калибровке выравнивались с точностью 20% во время on-line-обработки. В дальнейшем, во время off-line-анализа, мю-калибровка использовалась для выравнивания сигналов в отдельных каналах с точностью  $\geq 5\%$ . Амплитуда сигналов от мюонов в среднем по каждому модулю соответствует примерно 60-80 фотоэлектронам согласно светодиодной калибровке<sup>/8/</sup>.

### 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Измерение характеристик калориметра было выполнено на пучке пи-минус-мезонов с импульсом 37,5 ГэВ/с. Примесь частиц, отличных от  $\pi^-$ -мезонов, составляет 2% / $K^-$  - 2%,  $P^-$  - 0,02%,  $\mu^-$ ,  $e^-$  - 0,003%/.

Юстировка калориметра вдоль пучка осуществлялась с точностью  $\pm 20$  мрад. Компоновка модулей в сборке из 16 модулей

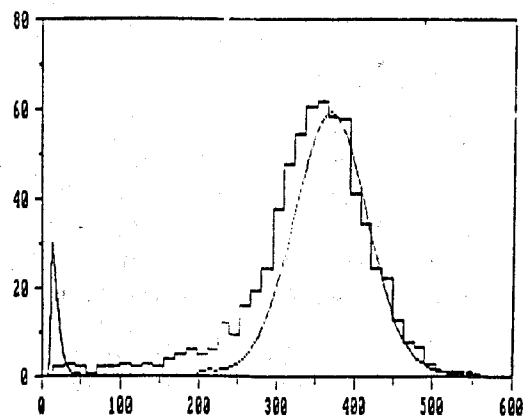


Рис. 2. Амплитудный спектр сигналов  $A_{tot}$  /сумма по всем модулям/ калориметра, от пи-минус мезонов с энергией 37,5 ГэВ и мю-мезонов с энергией  $\geq 5$  ГэВ. Сплошная кривая соответствует фитированию спектра от пи-мезонов, полученного путем обработки с дискриминацией амплитуды в  $S_3$ -счетчике при потере статистики в 25%. В начале шкалы показан спектр от мю-мезонов.

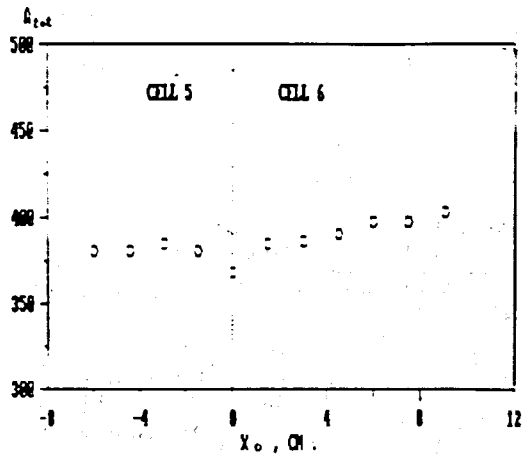


Рис. 3. Зависимость положения адронного пика  $A_{tot}$  от места попадания  $x_0$  в калориметр пи-минус-мезона с энергией 37,5 ГэВ. Здесь и на следующих рисунках положение световода показано заштрихованным прямоугольником.

схематически показана на рис. 1А. Исследование характеристик калориметра проводилось при прохождении пучка пи-мезонов через 5-й и 6-й модули.

Координаты треков частиц определялись при помощи двух сцинтилляционных годоскопов<sup>7/</sup> с шириной дискретного элемента 3 мм.

Полное энерговыделение ( $A_{tot}$ ) в центральной части модуля №5 /сумма сигналов от всех модулей/ показано на рис. 2. Здесь же показан спектр сигналов от мю-мезонов, соответствующий энергии адрона порядка 2 ГэВ. Энергетическое разрешение калориметра при энергии пи-минус мезона 37,5 ГэВ/с составляет 14,5% и следует зависимости

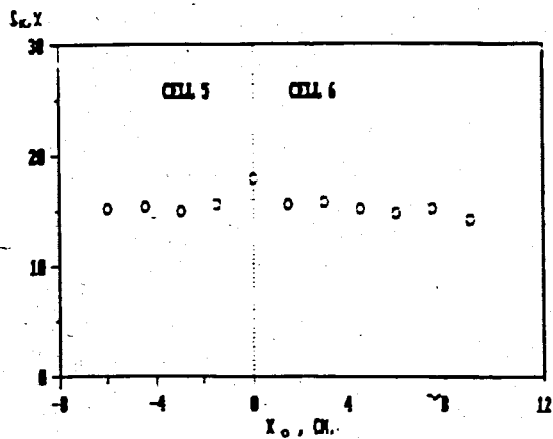
$$dE/E = 0,89/\sqrt{E}.$$

Энерговыделение, выраженное в числе фотоэлектронов:

$$Ne = (30 \pm 5) \times \text{ГэВ}^{-1}.$$

Однородность калориметра по амплитуде суммарного сигнала  $A_{tot}$  и по энергетическому раз-

Рис. 4. Зависимость энергетического разрешения калориметра  $s_E$  от точки попадания  $X_0$  в модуль пи-минус мезона с энергией 37,5 ГэВ.



решению была проверена с использованием сцинтилляционных годоскопов<sup>7/</sup> и путем перемещения сборки модулей поперек пучка. За исключением точек вблизи световода / $X = 0$  см,  $X = 15$  см/ величина суммарного сигнала постоянна с точностью 2% /рис. 3/. При приближении к световоду /точка "0"/ амплитуда сигнала полного энерговыделения  $A_{tot}$  понижается на 6%.

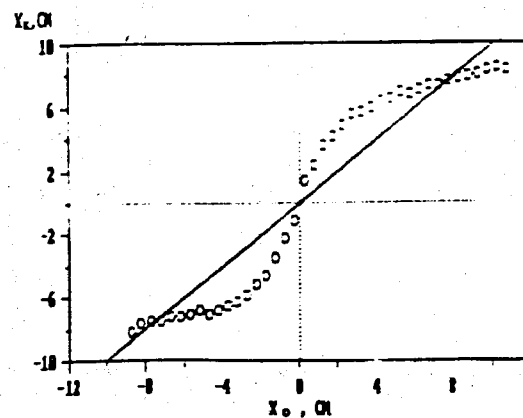
Энергетическое разрешение практически не зависит от точки попадания в калориметр пи-мезона, кроме зоны 2,0 см от световода, где величина  $dE/E$  возрастает на 25% /рис. 4/.

## 5. КООРДИНАТНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Измерение координатного разрешения проводилось по центру тяжести ( $X_K$ ) энерговыделения ливня в модулях калориметра.

Годоскопические счетчики, установленные на переходе между 5-м и 6-м модулями, определяли истинную координату  $X_0$  трека пи-минус мезона, попадающего в калориметр. При экспоненциальной форме ливня  $X_K$  дает смещенную оценку координаты частицы. Смещение корректируется введением поправки<sup>8/</sup>, после чего измеренная координата совпадает с истинной с точностью около 10 мм. На рис. 5 показана зависимость координаты, восстановленной калориметром, от координаты  $X_K$ , восстановленной годоскопом.

Точность определения координаты адрона зависит от места входа частицы в ячейку калориметра. На границе модулей она минимальна, что видно из рис. 6. Координатная точность  $/s_x/$  калориметра, усредненная по ячейке-модулю, равна 20 мм, при этом она изменяется от 10 мм /на стыке модулей 5 и 6/ до 25 мм /по центру модуля 6/.



На горизонтальных шкалах рис. 5 и 6 точка "0" соответствует стыку 5 и 6 модулей. С ростом энергии адрона координатная точность ( $s_x$ ) калориметра увеличивается<sup>9/</sup>, и при энергиях свыше 1 ТэВ ее величина может достигать 1 мм.

Рис. 5. Зависимость измеренной координаты  $X_K$  трека адрона от истинной координаты  $X_0$  пи-минус-мезонов /прямая линия соответствует истинной координате.

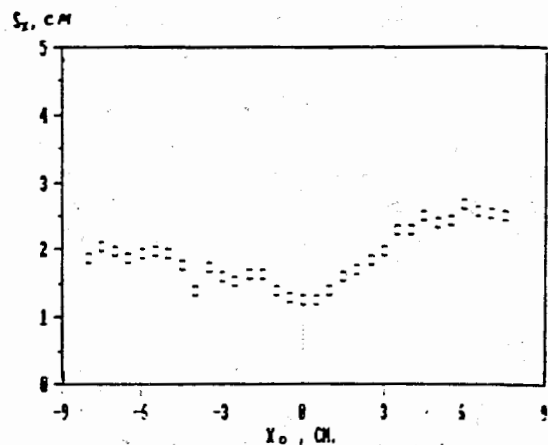


Рис. 6. Зависимость координатной точности  $S_x$  от точки попадания  $X_0$  пи-минус-мезона в модуль калориметра.

#### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведены измерения характеристик сборки из 16 модулей адронного калориметра как прототипа калориметра в установке "Меченые нейтрино" - одним

из базовых экспериментов на ускорителе ИФВЭ У-70. Отработана методика сборки отдельного модуля калориметра, оптимизированы операции в изготовлении сцинтилляторов и световодов, позволяющие получить максимальный светосбор и хорошую однородность. Энергетическое разрешение калориметра в среднем равно 14-16% для пи-мезонов с энергией 37,5 ГэВ, координатное разрешение ~ 2 см.

Отметим успешное применение сцинтилляторов, изготовленных методом пресс-формовки, и перспективность их использования при дальнейшем создании многомодульных систем в экспериментах на УНК. Такая методика изготовления сцинтилляторов весьма перспективна при создании многомодульных детекторов, поскольку исключает всякого рода механическую обработку при их изготовлении.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам СНЭО ОИЯИ Ю.П.Петухову; Е.Н.Козаренко за предоставление online-программ и ЭВМ "Электроника-100-25", В.Н.Антимонову - за осуществление технического обеспечения при проведении измерений.

Авторы признательны С.П.Денисову и Э.И.Мальцеву за поддержку настоящей работы, А.М.Зайцеву - за предоставление возможности проведения настоящих исследований на пучке частиц установки ВЕС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов С.П. - Пучки меченых нейтрино - новый шаг в методике нейтринных исследований. М.: из-во МИФИ, 1987.
2. Дацко В.С. - Препринт ИФВЭ 87-85, Серпухов, 1987.

3. Семенов В.К. - Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции "Состояние и перспективы разработки и применения сцинтилляторов и сцинтилляционных детекторов в XII пятилетке". Харьков: изд. АН УССР, 1986, с.86.
4. Алимов Т.В. и др. - Препринт ИФВЭ 86-35, Серпухов, 1986.
5. Дацко В.С. и др. - Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции "Состояние и перспективы разработки и применения сцинтилляторов и сцинтилляционных детекторов в XII пятилетке". Харьков: изд. АН УССР, 1986, с.85.
6. Коллар Д. и др. - Сообщение ОИЯИ 13-9003, Дубна, 1975.
7. Горин А.М. и др. - Препринт ИФВЭ 87-137, Серпухов, 1987.
8. Бинон Ф. и др. - Препринт ИФВЭ 79-128, Серпухов, 1979.
9. Prokoshkin Yu.D. - Proceedings of the Second ICFA Workshop on Possibilities and Limitations of Accelerators and Detectors. Les Diablereles, Switzerland /ed. CERN, Geneva/ 1979, p.405.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 июня 1989 года.