

93-120



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P1-93-120

О.П.Гаврищук, Р.В.Еремеев, М.Г.Кадыков,
В.В.Кухтин, В.К.Семенов*

МОДУЛЬ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА АК-600

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

* Институт физики высоких энергий, Протвино

1993

Введение

В ОИЯИ завершаются работы по созданию широкоапертурного адронного калориметра полного поглощения АК-600, который будет включён в состав комплекса "Меченные нейтрино"/¹¹/ на ускорителе У-70 ИФЭЭ (Протвино). Калориметр должен с высокой точностью идентифицировать и измерять параметры адронов в безнейтринных распадах заряженных К-мезонов:

$$K^+ - \pi^+ \pi^+ \pi^+,$$

$$K^+ - \pi^+ \pi^0 \pi^0,$$

$$K^+ - \pi^+ \pi^0 \gamma \text{ и др.}$$

Требования, предъявляемые к калориметру:

- хорошее энергетическое и координатное разрешение при сравнительно невысокой стоимости;
- малое мёртвое время для работы в высокоинтенсивных пучках;
- возможность тестирования и отладки "вне пучка";
- возможность использования информации с калориметра для увеличения селективности триггера;
- надёжность, простота и безопасность эксплуатации.

Все вышеперечисленные требования привели к выбору ячеистого калориметра типа "сэндвич" (железо + пластический сцинтиллятор)

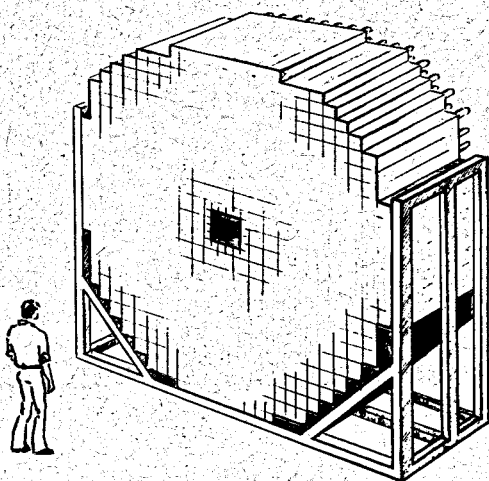


Рис. 1. Адронный калориметр АК-600. Вид спереди по пучку.

со светосбором, осуществляемым с помощью световодов-смещителей спектра. Модули двух типов (с размерами поперечного сечения $15 \times 15 \text{ см}^2$ и $7,5 \times 7,5 \text{ см}^2$) компонуются в сборку с радиусом описанной окружности 2 м, изображённую на рис.1. Модули меньшего сечения укладываются вблизи от оси пучка, где имеется большая загрузка от частиц гало пучка.

В данной работе описан поиск наиболее оптимальных решений при создании модуля АК-600. Представлены результаты измерений основных характеристик детектора.

1. Выбор "сэмплинг"-структуры модуля

Для полного ($\approx 95\%$) поглощения энергии адронного ливня счётчик должен иметь длину:

$$L(0,95) = 40 + 9 \ln(E) \text{ [см] Fe}^{1/2}, \quad E = [\text{ГэВ}]$$

Для 40 ГэВ адрона $L(0,95) = 78 \text{ см}$. Была выбрана толщина модуля $L = 80 \text{ см}$ железа. Толщина отдельного слоя поглотителя должна быть такой, чтобы эффективно регистрировать электромагнитную компоненту адронного ливня, а также протоны с энергией $\approx 200\text{--}300 \text{ мэВ}$ и пробегом в железе $\approx 2\text{--}3 \text{ см}^{3/4}$, образованные в инициированных ливнем ядерных распадах. Толщина слоя поглотителя была выбрана равной 2 см. Таким образом, в каждом модуле 40 слоёв железа по 2 см толщиной. Для подтверждения правильности выбранной структуры модуля были проведены расчёты методом Монте-Карло^{4/}. На рис.2

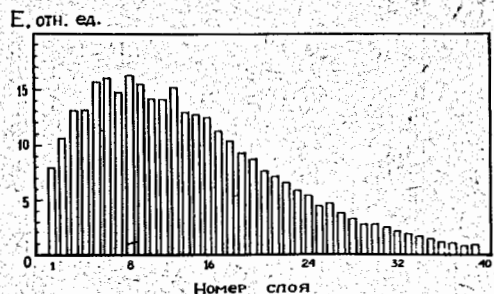


Рис.2. Зависимость потерь энергии влетающего в модуль π -мезона с $E = 40 \text{ ГэВ}$ в зависимости от номера слоя поглотителя

представлена зависимость потерь энергии влетающего в модуль π -мезона от номера слоя поглотителя. Результаты моделирования показали, что действительно, при энергии налетающей частицы 40 ГэВ калориметр поглощает $\approx 95\%$ энергии, а при энергии 15 ГэВ является счётчиком полного поглощения.

Оптимальная толщина сцинтилляционных пластин лежит, по-видимому, в пределах $s = 5\text{--}10 \text{ мм}$. При уменьшении толщины увеличиваются "сэмплинг"-флуктуации, уменьшается световыход и, следовательно, определяемое им число фотоэлектронов, увеличивается неоднородность светосбора вдоль сцинтиллятора^{5/}. Увеличение толщины сцинтилляционных пластин приведёт к увеличению, во-первых, необходимого для детектора объёма сцинтиллятора, что экономически невыгодно, во-вторых — длины модуля и, следовательно, увеличению вклада в энергетическое разрешение продольных флуктуаций адронного ливня^{6/} и, в-третьих, ухудшит компенсационные свойства калориметра, т.е. отношение e/h будет существенно отличаться от 1^{7/}. Также учитывалось, что сцинтилляционные пластины толщиной 5 мм успешно использовались в адронных калориметрах ГДА-100^{8/} и в установке СИГМА-АЯКС^{9/}.

2. Литевой пластический сцинтиллятор

Ввиду довольно жёстких сроков создания установки и большого числа требуемых сцинтилляционных пластин (24 тыс. шт.) традиционные способы изготовления сцинтилляторов были признаны неприемлемыми.

Действительно, общепринятый способ полимеризации мономера стирола блочным методом в форме из листового алюминия с последующей механической обработкой или расплавлением полученного сцинтилляционного блока в автоклаве и выдавливанием расплава через плоскощелевую фильеру^{10/} привёл бы к большим трудозатратам, которые в условиях загруженности производства составили бы несколько лет. Кроме того, метод блочной полимеризации стирола небезопасен, т.к. стирол токсичен, взрыво- и пожароопасен, недостатком его также является сложность теплоотвода при полимеризации (теплота полимеризации стирола 685 кДж/кг) из-за высокой вязкости реакционной массы и большой продолжительности процесса. Поэтому, учитывая вышеизложенные причины, была разработана и внедрена в промышленность высокопроизводительная технология изготовления сцинтилляторов

методом литья под давлением на термопластавтоматах^{11/}. Согласно этой технологии на начальном этапе методом сухого смешивания готовится композиция на основе промышленного гранулированного полистирола ПСМ-115 и двух спектросмещающих добавок. В качестве первичной люминесцирующей добавки используется PPO (концентрация - 1,5%), в качестве вторичной - PPOP (0,05%). На данном этапе большое значение придается контролю за степенью влажности исходных компонентов, ибо этим во многом определяется качество изделий. Приготовленная смесь загружается в термопластавтомат, на котором располагается литейная форма, соответствующая требуемым размерам и форме пластин. Время изготовления одной пластины при температуре расплава 170-210°C и создаваемом давлении ≈ 150 кгс/см² составило около двух минут. Благодаря тому, что оформляющие поверхности литейной пресс-формы обработаны по девятому классу чистоты, получаемые сцинтилляционные пластины не требуют дальнейшей механической обработки и непосредственно используются при сборке модулей адронного калориметра. Контрольные измерения габаритных размеров и толщин получаемых литейных сцинтилляторов показали, что предложенный способ изготовления обладает хорошей повторяемостью. Отклонения пластин от средних значений не превышали 0,1 мм.

Одной из основных характеристик калориметров является разрешение по энергии, вклад в которое, наряду со многими другими факторами, обусловлен и свойствами применяемых сцинтилляторов, в частности их световых выходом и прозрачностью^{5/}. Для сравнения по этим параметрам с имеющимися образцами, полученными экструзионным способом^{10/}, вырезанными из полимеризованного блока с последующей механической обработкой^{12/} и изготовленными в ГДР полимеризацией между стёклами (основа - полиметилметакрилат, добавки: 3% нафталина + 1% PPO + 0,01% PPOP)^{13/}, было проведено выборочное изучение первых 4000 сцинтилляционных пластин, полученных методом литья под давлением. Измерения проводились токовым методом по схеме, приведенной на рис.3, с использованием радиоактивного источника ⁹⁰Sr, ФЭУ-110, ФЭУ-84-3 и переходных световодов из оргстекла соответствующих размеров и сечений. ФЭУ соединялись со световодами без оптической смазки простой стыковкой. Для устранения эффекта отражения сцинтилляционного света противоположный от ФЭУ торец пластины закрывался чёрной лентой на оптическом контакте. В таблице 1 указаны тип сцинтиллятора, его размеры, световых выход и прозрачность (длина

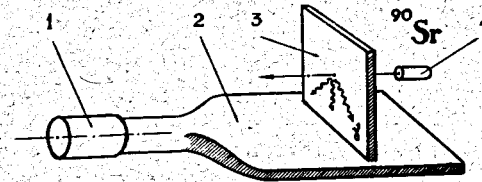


Рис.3. Схема измерений оптических свойств сцинтилляторов: 1-ФЭУ, 2-световод, 3-исследуемый сцинтиллятор, 4-радиоактивный источник

ослабления света в е раз). Таким образом, как показали исследования, сцинтилляционные характеристики литейных полистирольных пластин не уступают характеристикам образцов, изготовленных по ранее применявшимся технологиям при использовании одних и тех же люминесцирующих добавок. Несколько большую прозрачность литейных пластин по сравнению с другими можно объяснить, по-видимому, высоким качеством поверхности и ориентацией полимера в направлении впрыска разогретой сцинтилляционной массы в пресс-форму (согласно проведенным измерениям, однородность светособирания пластин вдоль направления впрыска оказалась примерно на 5% выше, чем в поперечном направлении).

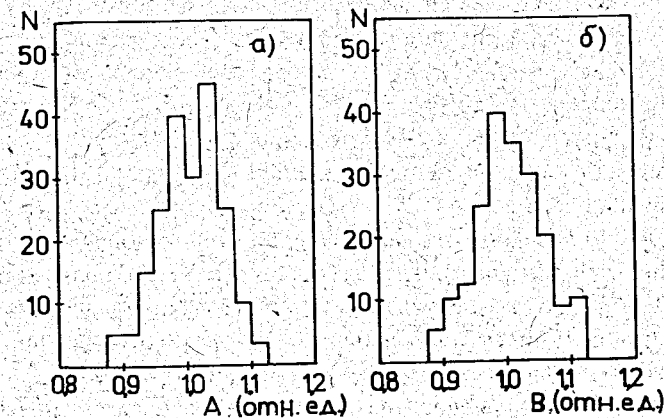


Рис.4. Результаты измерения разброса полистирольных сцинтилляционных пластин, изготовленных методом литья под давлением (на партии 200 шт.): а) - по световых выходу, б) - по прозрачности

С целью изучения разброса по световыходу и прозрачности на партии сцинтилляционных пластин было промерено примерно 200 образцов. Результаты представлены на рис.4. Измерения показали стабильность характеристик в пределах $\pm 10\%$.

Таблица 1. Сравнительные характеристики сцинтилляторов

№ п/п	Тип сцинтиллятора	Размеры, мм ³	Световыход, отн.ед.	Прозрачность λ , см
1.	Блочный, ЛВЭ ОИЯИ	142*146*10	0,9	50-80
2.	Экструдированный, ИФВЭ(Протвино)	142*148*5	1	70-90
3.	Литьевой, ЛВЭ ОИЯИ	142*146*5	1	80-100
4.	Полимеризованный между стёклами, ИФВЭ(Цойтен, Германия)	150*149*5	0,8	70-80

На рис.5 приведены зависимости средней амплитуды сигнала от радиоактивного β -источника при различных вариантах оборачивания пластин. Видно, что применение зеркального отражателя на дальнем от световода торце приводит к общему увеличению световыхода примерно на 20%. В случае же, когда пластины были обернуты на 2/3 алюминизированным майларом с зеркалом на торце и на 1/3 чёрной лентой у ближнего к световоду торца сцинтилляционной пластины, на некоторых образцах удалось достичь значения однородности светособирания порядка 98%.

Приведенные выше данные свидетельствуют о большой перспективности метода литья под давлением, т.к. полученные таким способом образцы не уступают по световыходу и однородности светособирания экструдированным и изготовленным путём механической обработки блочного сцинтиллятора, а по технологичности производства значительно их превосходят. Необходимо также отметить, что размеры изготавливаемых по описанной технологии пластиковых сцинтилляторов определяются в основном рабочим объёмом используемого пресс-автомата и могут варьироваться в широких пределах, удовлетворяя различным конструкциям физических установок.

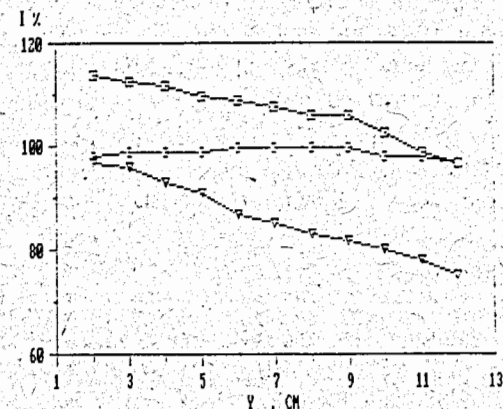


Рис.5. Зависимость средней амплитуды I сигнала от β -источника в пластине сцинтиллятора от расстояния y до световода-переизлучателя: \square — пластина обернута алюминизированным майларом, ∇ — пластина обернута майларом без "зеркала" на торце, \circ — пластина обернута на 2/3 майларом и на 1/3 чёрной бумагой

3. Световол-смещитель спектра

Одним из недостатков детекторов типа "сэндвич" со световодами-смещителями спектра (WLS) является наличие "горячих зон". "Горячие зоны"—это области вблизи WLS, в которых происходит резкое изменение энергетического разрешения и однородности детектора из-за вклада черенковского света от частиц адронного ливня, пересекающих WLS. От правильного выбора WLS существенно зависят основные характеристики детектора. При выборе оптимального WLS мы руководствовались данными работы^{5/}, где был исследован большой набор различных образцов световодов-смещителей. Основным параметром, по которому отбирались WLS, — минимальный вклад черенковского света в WLS в энергетическое разрешение и неоднородность детектора.

В таблице 2 приведены результаты по измерению эффектов от черенковского излучения в различных образцах WLS. Величина A_{Sc} , характеризующая эффективность конверсии световода-смещителя, приведена в относительных единицах. Условно принято, что $A_{Sc}=1$ для WLS объёмного типа фирмы POLIVAR. На основании приведённых экспериментальных данных был выбран поверхностный переизлучатель

(плёночного типа), который изготавливался в ОП ИФВЭ по технологии, разработанной в ОЭФ ИФВЭ (Протвино).

Важным параметром, также существенным образом влияющим на энергетическое разрешение детектора, является прозрачность световода-смещителя. В работе^{14/} описана методика измерения вклада в энергетическое разрешение, связанного с флуктуациями продольного развития адронных ливней (и соответствующими им флуктуациями переизлучённого света в WLS из-за конечной прозрачности световода-смещителя).

Таблица 2. Результаты измерений максимального вклада черенковского света в неоднородность ($A_{\text{чер}}/A_{\text{сц}}$) и энергетическое разрешение ($\Delta A_{\text{чер}}/A_{\text{сц}}$) для различных образцов WLS

Измеряемая величина	$A_{\text{сц}}$	$A_{\text{чер}}/A_{\text{сц}}$	$\Delta A_{\text{чер}}/A_{\text{сц}}$
Тип WLS (толщина)			
POLIVAR (t=3 мм)	1,0	15%	12%
POLIVAR (t=1 мм)	0,82	10%	6%
Поверхностный WLS на ПММА (t=3 мм)	1,1	10%	8%
Поверхностный WLS на ПММА (t=1 мм)	0,76	5%	4%

Все окрашенные световоды проходили паспортизацию на стенде с использованием радиоактивного источника ^{106}Ru и ФЭУ-110. Результаты представлены на рис.6. Видно, что значения длины затухания для различных WLS колеблются в очень широких пределах - от 1 до 12 м. Проведённые дополнительные экспериментальные и теоретические исследования показали, что для достижения наилучшего энергетического разрешения при $E_{\text{ч}}=40$ гэв для калориметра длиной ≈ 5 яд. длин существует оптимум длины затухания WLS - $2,5 \pm 3$ м, при которой происходит компенсация флуктуаций продольных утечек адронного ливня^{15/}. Поэтому для каждого световода изготавливался нейтральный фильтр переменной оптической плотности по глубине модуля калориметра, который размещался между сцинтилляторами и WLS. Оптическая плотность фильтров рассчитывалась в соответствии с предварительно

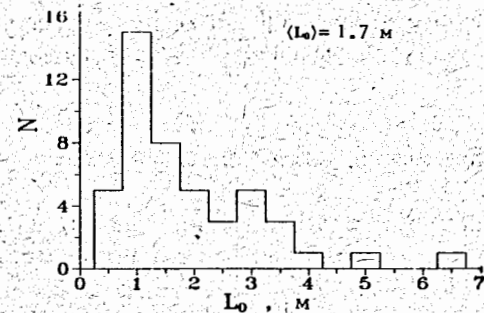


Рис.6. Результаты паспортизации окрашенных WLS по длине затухания

измеренной зависимостью светопропускания в спектросмещающем световоде по длине. Фильтры изготавливались путём нанесения непрозрачного рисунка на майлар с помощью ПЭВМ и графопостроителя.

4. Выбор типа ФЭУ

Выбор конкретного типа фотоумножителя обусловили те же самые требования, что и для электромагнитного калориметра GEPARD^{5/}, а именно: приемлемое быстродействие, высокая чувствительность фотокатода в области излучения WLS (420÷480 нм), габаритный размер, стабильность коэффициента усиления, доступность (невысокая цена и возможность иметь большое количество для сортировки и отбора). Наиболее оптимальным с этой точки зрения оказался ФЭУ 84-3, обеспечивающий также широкий динамический диапазон. Общее число фотоумножителей ФЭУ 84-3, используемых в детекторах комплекса "Меченые нейтрино", $\approx 10^4$ шт. При отборе для годоскопов станции мечения и калориметра "GEPARD" все они прошли паспортизацию по параметрам: анодная чувствительность и стабильность коэффициента усиления^{16/}. Из оставшихся было отобрано необходимое количество ФЭУ с удовлетворяющими предъявляемым требованиям характеристиками.

Основной недостаток ФЭУ 84-3 - относительно малое быстродействие, которое обусловлено используемой жалюзийной диодной системой^{17/}. Длительность сигнала на уровне 10% амплитуды $\approx 30 \pm 40$ нс. Но поскольку в исследуемом калориметре используется WLS с временем высвечивания 5-6 нс, а длина кабеля

задержки от ФЭУ до блоков АЦП ≈ 130 нс, то использование более быстрых ФЭУ не дало бы значительного увеличения быстродействия детектора.

5. Конструкция модуля адронного калориметра

Схематический чертёж модуля представлен на рис.7. Модуль представляет собой "сэндвич" из чередующихся пластин стали марки 3 размером $147 \times 143 \times 20$ мм³ (40 шт.) и сцинтиллятора $147 \times 143 \times 5$ мм³ (40 шт.). Полная толщина модуля по пучку составляет приблизительно 4,97 ядерные длины.

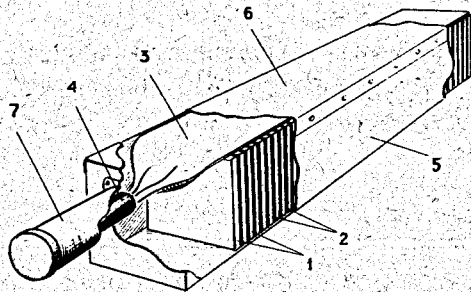


Рис.7. Конструкция модуля адронного калориметра: 1 - стальные поглотители $d=20$ мм, пластиковые сцинтилляторы $d=5$ мм, 3 - световод-смеситель спектра, 4 - ФЭУ-84-3, 5 - корпус модуля, 6 - крышка модуля, 7 - корпус ФЭУ

Сцинтилляционные пластины изготавливались методом литья под давлением из гранулированного полистирола ПСМ-115 и спектросмещающих добавок РРО (1,5%) и РОРОР (0,05%). Для повышения светосбора каждая сцинтилляционная пластина оборачивалась алюминизированным майларом толщиной 12 мкм, а для улучшения однородности светосбора её ближний к световоду край оборачивался чёрной бумагой.

Набор из чередующихся стальных и сцинтилляционных пластин собирался в корпусе из листовой стали толщиной 1,5 мм. Каждая восьмая пластина поглотителя имела жёсткое соединение с корпусом, что обеспечивало жёсткость всей конструкции "сэндвича" в целом.

Световод-смеситель спектра изготавливался в лабораторных условиях в виде пластины из органического стекла марки СО-95

размером $1250 \times 144 \times 3$ мм³ с поверхностным переизлучателем. Сместитель спектра (1,5 дифенил-3-стирил-пиразолин) наносился на световод только в зоне расположения сцинтиллятора, а ближняя к ФЭУ его часть не окрашивалась. Окраска производилась методом погружения в спиртовой раствор, содержащий спектросмещающую добавку^{18/}. Люминофор на глубине световода порядка 5 мкм образовывал поверхностное покрытие, толщина которого варьировалась по длине с целью получения максимальной однородности светосбора. Торец световода-смесителя размером 144×3 мм² совмещался с фотокатодом ФЭУ 84-3, имеющим диаметр 25 мм, путём термоформования на специальном приспособлении при разогреве органического стекла выше температуры стеклования. Используемое приспособление обеспечивало высокую повторяемость образцов и большую производительность. Сформованный и отторцованный световод оборачивался алюминизированным майларом с противоположного от ФЭУ торца и с противоположной сцинтилляторам поверхности и проверялся на стенде на неоднородность светосбора по длине. Для обеспечения равномерного воздушного зазора между световодом и сцинтилляторами прокладывались две лески толщиной 0,5 мм.

Стыковка ФЭУ и световода осуществлялась без оптического контакта. Конструкция кожуха, в котором расположены ФЭУ 84-3 и изогнутый конец световода-смесителя, позволяет заменять световод-смеситель в произвольном модуле калориметра, не разбирая всего детектора. Это может оказаться необходимым при работе в высокоинтенсивных пучках частиц из-за радиационных повреждений WLS^{19/}.

Для экранировки от рассеянных магнитных полей фотоумножитель размещался в стальном (труба диаметром 60 мм, толщиной 3 мм) и пермалловом экранах (3 слоя пермаллоя толщиной 200 мкм).

В центре первой пластины поглотителя предусматривалось отверстие, в которое устанавливался светодиод АЛ-307, сигнал от которого использовался для отслеживания нестабильности каналов калориметра в процессе экспозиции на пучке.

6. Энергетическое и пространственное разрешение модулей

Измерение характеристик модулей АК-600 было выполнено на пучке π^- -мезонов с импульсом 37,5 ГэВ. Примесь частиц, отличных от π^- -мезонов, составляла 2%. Схема проведения измерений показана на рис.8. Пучок отрицательных π^- -мезонов проходит через счётчики

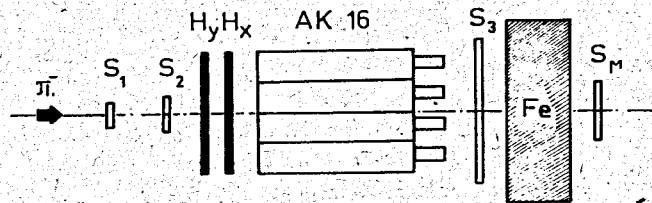


Рис.8. Схема проведения измерений характеристик адронного калориметра: S_1, S_2 - сцинтилляционные счётчики; H_x, H_y - годоскопические счётчики, АК - сборка адронного калориметра, S_3 - сцинтилляционная стенка, Fe - мюнная защита, S_μ - мюнный счётчик

S_1, S_2 , годоскопические счётчики H_x, H_y и попадает на сборку из шестнадцати модулей адронного калориметра. Непровзаимодействовавшие π -мезоны и непоглощённые в калориметре частицы ливня регистрируются сцинтилляционной стенкой S_3 . В случае прохождения мюна счётчик S_μ , расположенный за железным мюнным фильтром, вырабатывает мюнную метку.

Распределение по амплитуде адронного сигнала A при попадании пучка в один из центральных модулей показано на рис.9. В

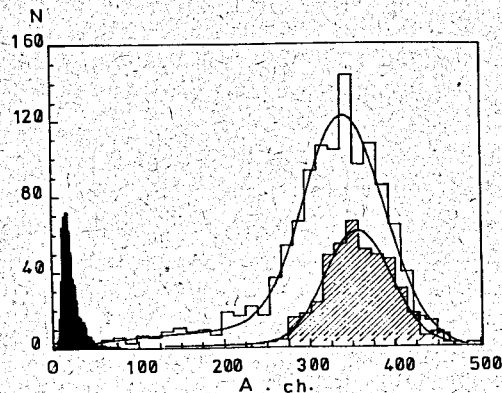


Рис.9. Амплитудные спектры сигналов с адронного калориметра: незаштрихованная гистограмма - спектр π -мезонов, заштрихованная гистограмма - спектр π -мезонов при значительном увеличении порога счётчика S_3 , сплошная штриховка - мюнный спектр.

результате аппроксимации^{/20/} получено значение разрешения $R=13,7\%$. Нижняя кривая показывает амплитудный спектр при значительном увеличении порога дискриминации счётчика S_3 . При этом происходит падение статистики примерно на 40%, а разрешение улучшается до 10,1%. Это связано с тем, что увеличивается выборка ливней, полностью "содержащихся" в калориметре. На рисунке также приведён мюнный спектр, соответствующий энергии адрона порядка 2 ГэВ. Чувствительность калориметра (число фотоэлектронов, выбиваемых из фото катода фотоумножителей счётчиков) составила $N_{ф.э.} = (30 \pm 5) \text{ ГэВ}^{-1}$.

Результаты исследований зависимости энергетического разрешения и средней амплитуды от точки попадания частицы в калориметр представлены на рис.10 и 11. Точка отсчёта проходит через стык

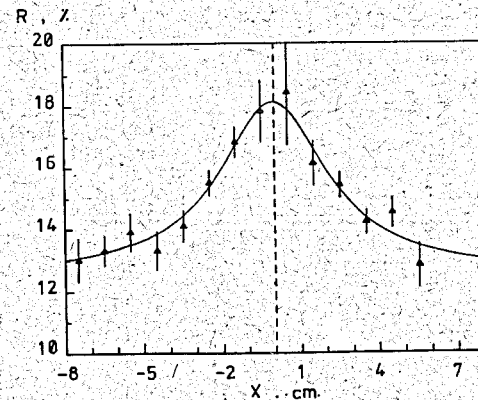


Рис.10. Зависимость энергетического разрешения калориметра от координаты регистрируемой частицы

модулей. Наблюдается рост амплитуды от центра к краю модуля с небольшим уменьшением в районе границы модулей (рис.11). Изменения амплитуды (в пределах 3% от среднего значения) приводят к ухудшению разрешения от центра к краю модуля с 13 до 18% (рис.10).

Координаты адронов определялись по центру тяжести энерговыделения ливня в модулях калориметра. На рис.12 приведены зависимости измеренной координаты центра тяжести адронного ливня от истинной координаты π -мезона (измеренной сцинтилляционными годоскопами^{/21/} с точностью не хуже 3 мм без коррекции (\square) и

A. ch

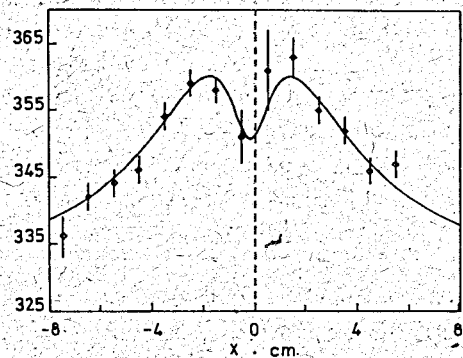


Рис.11. Зависимость амплитуды адронного сигнала от координаты попадания π -мезона в калориметр

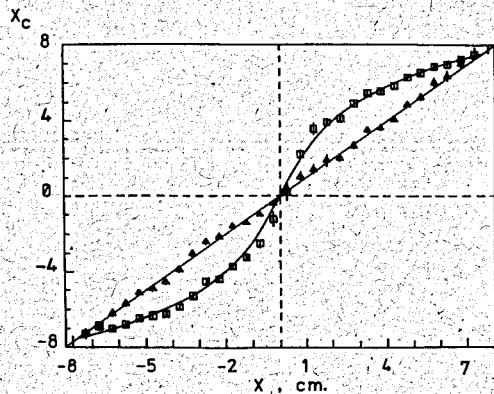


Рис.12. Зависимость измеренной координаты ливня x_0 от координаты попадания π -мезона в калориметр

после коррекции (Δ) систематических смещений, связанных с экспоненциальной формой ливня^{/22/}.

На рис.13 представлена зависимость координатного разрешения калориметра от точки попадания частицы для двух случаев: Δ -коррекция координат после их вычисления по центру тяжести ливня не производится, \square - коррекция производится согласно процедуре, описанной в работе^{/20/}. Усредненное значение величины координатного разрешения составило 1,7 см.

В работе^{/23/} была также исследована возможность разделения в адронном сэмпинг-калориметре АК-600 адронов и электронов с

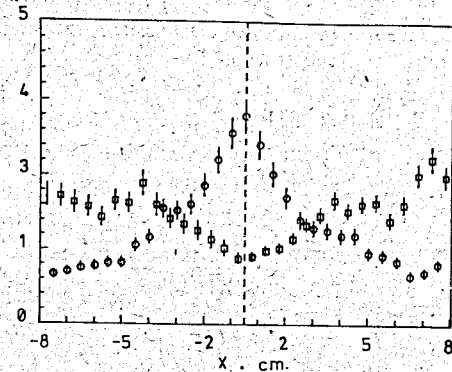
 σ_x (cm).

Рис.13. Зависимость координатной точности σ_x от координаты попадания π -мезона в калориметр

использованием распределения энерговыделения каскадов в поперечном направлении. Было показано, что введение ограничения на ширину ливня позволяет подавить регистрацию электронов до уровня порядка 10^{-2} при 90% эффективности регистрации π -мезонов. Такой же уровень достигается при подавлении адронов и выделении электронов.

Заключение

В ОИЯИ разработана методика и технология создания модулей для ячеистых адронных калориметров, что позволило в относительно короткие сроки создать самый большой в ОИЯИ и ИФВЭ (Протвино) детектор полного поглощения АК-600 (апертура $\approx 16 \text{ м}^2$, количество модулей ≈ 600). Также в целях уменьшения сроков создания детектора был разработан и внедрён в промышленность способ изготовления сцинтилляционных пластин методом литья под давлением на термопластавтоматах, показавший свою высокую перспективность при создании детекторов типа "сэндвич".

Проведённые методические испытания на пучках ускорителя У-70 (ИФВЭ, Протвино) позволили сделать вывод, что по своим основным параметрам (энергетическое и пространственное разрешение, неоднородность и e/π -режекция) калориметр АК-600 не уступает аналогичным детекторам, а применение метода компенсации флуктуаций продольных утечек адронного ливня позволяет существенно улучшить его характеристики.

Авторы благодарны И.Г.Косареву, В.И.Кочеткову и всем коллегам по коллаборации "Меченые нейтрино" за поддержку, интерес к работе и совместные обсуждения в процессе создания и испытаний модулей детектора АК-600.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аммосов В.В. и др. Сообщения ОИЯИ P1-90-458, Дубна, 1990.
2. Прокошкин Ю.Д. Препринт ИФВЭ 84-98, Серпухов, 1984.
3. Iwata S. DPNV-3-79, Nagoya University, Japan.
4. Кадыков М.Г. и др. Препринт ОИЯИ P1-89-769, Дубна, 1989.
5. Буянов В.М. и др. Препринт ИФВЭ 89-45, Серпухов, 1989.
6. Кадыков М.Г., Семёнов В.К. Сообщения ОИЯИ P1-91-36, Дубна, 1991.
7. Wigmans R. Preprint CERN/EP 86-18, Geneva, 1986.
8. Binon F. et al. Preprint CERN2EP/86-150, Geneva, 1986.
9. Антипов Ю.М. и др. Препринт ОИЯИ P13-89-830, Дубна, 1989.
10. Алимова Т.В. и др. Препринт ИФВЭ 86-35, Серпухов, 1986.
11. Семёнов В.К. В сб.: 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.
12. Антипов Ю.М. и др. Препринт ОИЯИ P13-87-344, Дубна, 1987.
13. Lange W. et al. Preprint PHE 82-2, 1982.
14. Краснокутский Р.Н. и др. Препринт ИФВЭ 84-182, Серпухов, 1984.
15. Gavrishchuk O.P. et al. Preprint JINR E1-92-101, Dubna, 1992.
16. Акопян М.В. и др. Препринт ИФВЭ 88-217, Серпухов, 1988.
17. Краснокутский Р.Н. и др. Препринт ИФВЭ 83-142, Серпухов, 1983.
18. Дацко В.С. и др. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Органические люминофоры и их применение в народном хозяйстве", Харьков, 1984, с.52.
19. Пищальников Ю.М. Препринт ИФВЭ 86-136, Серпухов, 1986.
20. Гавришук О.П. и др. Препринт ОИЯИ P1-90-227, Дубна, 1990.
21. Горин А.М. и др. Препринт ИФВЭ 87-137, Серпухов, 1987.
22. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ 79-128, Серпухов, 1979.
23. Гавришук О.П. и др. Препринт ОИЯИ P1-91-554, Дубна, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1993 года.