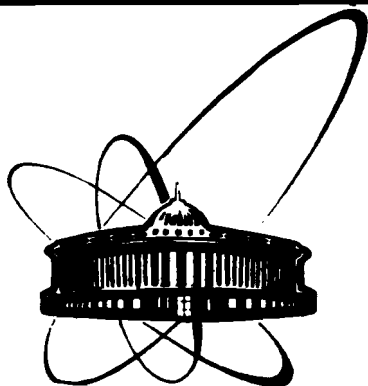


89-769



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

К 138

P1-89-769

**М.Г.Кадыков, В.В.Кухтин, Д.В.Пешехонов,
Г.И.Смирнов**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА
КОМПЛЕКСА "МЕЧЕННЫЕ НЕЙТРИНО"
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ "GHEISHA"**

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"

1989

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование ядерных и электромагнитных ливней с помощью ЭВМ осуществляется давно. Решение 3-мерной задачи о развитии каскада в композиции слоев различных веществ, характеризующейся сложной геометрией, возможно лишь численными методами. Моделирование развития ливня позволяет учесть все физические процессы взаимодействия с веществом, зависимости энергетического поведения сечений, особенности угловых и энергетических распределений вторичных частиц, наиболее прямым способом решить задачу о флуктуациях характеристик ливня, учитывать внешние факторы, влияющие на развитие каскада /например, магнитное поле/.

Единственным недостатком метода Монте-Карло является его относительно медленная сходимость /относительная точность метода $N^{-1/2}$, где N - число разыгранных историй/.

В настоящее время существует большое число программ для расчетов электромагнитных ливней методом Монте-Карло¹⁻³ и т.д./ . Они различаются в основном лишь удобством использования и степенью универсальности. Несколько иная ситуация наблюдается с моделированием адрон-ядерных каскадов.

В связи с тем, что в настоящее время не существует теории, адекватно описывающей всю совокупность данных, связанных с сильным взаимодействием, задача моделирования адронных ливней остается открытой.

В данной работе мы приводим результаты моделирования характеристик адронного калориметра комплекса "Меченые нейтрино" /КМН/ с помощью пакета программ "CHEISHA", являющегося на сегодняшний день наиболее развитым.

КОНСТРУКЦИЯ КАЛОРИМЕТРА

Адронный калориметр КМН предназначен для изучения безнейтринных распадов заряженных К-мезонов и представляет собой сборку из 592 модулей с поперечным сечением 150×150 мм² и 20 модулей - 75×75 мм² /рис.1/.

Отдельный модуль представляет собой сборку типа сэндвич чередующихся слоев железа и сцинтиллятора /рис.2/, помещенную



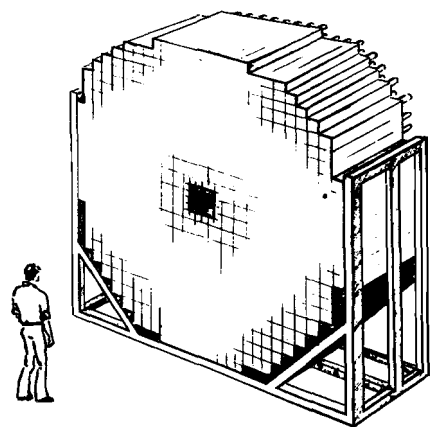


Рис.1. Адронный калориметр КМН. Вид спереди по пучку.

в светозащитный кожух. Сорок стальных пластин, толщиной 20 мм каждая, образуют поглотитель протяженностью 4,7 ядерных длин. Между пластинами поглотителя установлены сцинтилляторы толщиной 5 мм. Сбор фотонов со сцинтилляторов осуществляется при помощи световода, изготовленного из органического стекла толщиной 3 мм, на поверхность которого нанесен тонкий слой переизлучателя, длина излучаемой волны которого соответствует максимуму квантовой чувствительности ФЭУ. Параметры калориметра позволяют использовать его для определения координат и энергии адронов в диапазоне 10-100 ГэВ.

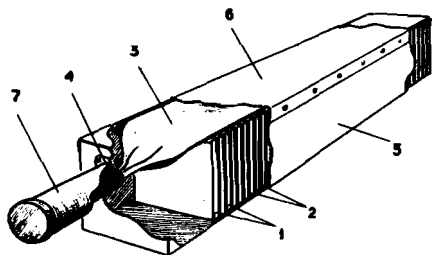


Рис.2. Конструкция модуля адронного калориметра: 1 - стальные поглотители $d=20$ мм, 2 - пластиковые сцинтилляторы $d=5$ мм, 3 - световод-смещитель спектра, 4 - ФЭУ-84-3, 5 - корпус модуля, 6 - крышка модуля, 7 - корпус ФЭУ.

ПАКЕТ ПРОГРАММ "GHEISHA"

Пакет программ "GHEISHA" /Gamma-Hadron-Electron Interaction SH(A) over code)^{/4/} позволяет моделировать развитие адронного и /или/ электромагнитного ливня в веществе детектора от всех частиц, включая каоны и странные барионы. Организация этого пакета предусматривает возможность выполнения трех этапов при моделировании отдельного события:

- трассировка частиц в объеме детектора;
- розыгрыш взаимодействий;
- оцифровка информации /ADC- или TDC-коды/.

Структура программы такова, что каждый из этих модулей может использоваться независимо, являясь фактически самостоятель-

ным комплексом программ. Для программ такого типа наиболее серьезной проблемой является достижение разумного компромисса между достигаемой точностью и требуемым расчетным временем.

Пакет "GHEISHA", созданный для моделирования детектора MARK J /установка PETRA/, был тестирован и оптимизирован для экспериментальной установки, представляющей собой сандвич металл-сцинтиллятор, заключенный в жидкий аргон и бомбардируемый частицами γ , e^\pm , π^\pm , K^\pm , K^0 , p в интервале энергий 0,1-1000 ГэВ.

Расчетное время, необходимое для розыгрыша одного события, зависит от ряда факторов /геометрия конкретной установки, энергия и сорт частицы, инициализирующей ливень/. С практической стороны наибольший интерес представляет зависимость требуемого времени от энергии падающей частицы. На ЭВМ ЕС-1061 при моделировании ливней, инициированных π^\pm -мезонами в детекторе, аналогичном адронному калориметру КМН сечением 2×2 м², время, необходимое для розыгрыша одного события, составляет ≈ 2 с/ГэВ.

Способ задания геометрии установки в пакете "GHEISHA", хотя и не является универсальным /как, например, в программе "GEANT"/, все же достаточно развит. Так, в версии "GHEISHA7" предусмотрена возможность описания детектора, состоящего из 100 модулей, каждый из которых может включать до 1000 ячеек /повторяющиеся элементы не являются отдельными модулями или ячейками/.

Немаловажным достоинством данного пакета является то, что при его создании была предусмотрена возможность совместного использования с такими широко распространенными пакетами программ, как "GEANT"^{/5/} и "EGS"^{/2/}, являющимися на сегодняшний день стандартными при моделировании крупных экспериментальных установок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Адронный калориметр КМН в первую очередь ориентирован на изучение распадов:

$$K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-;$$

$$K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0;$$

$$K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^0 \gamma,$$

являющихся частью К-мезонной физической программы комплекса. Мы моделировали развитие адронных ливней, инициированных заряженными π -мезонами в диапазоне энергии 5-40 ГэВ. Детектор

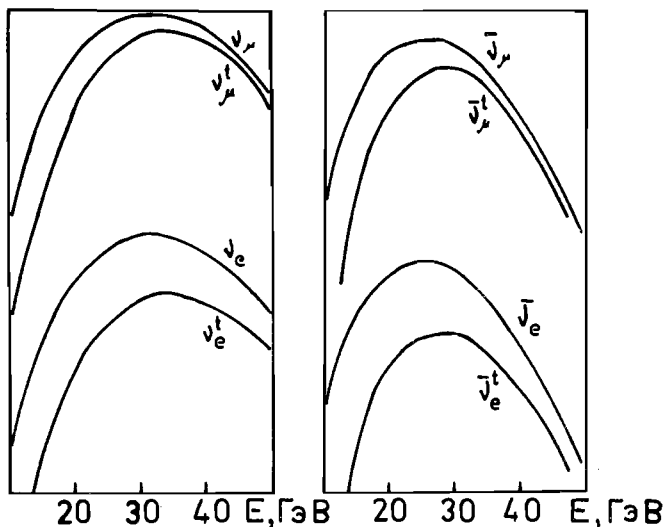
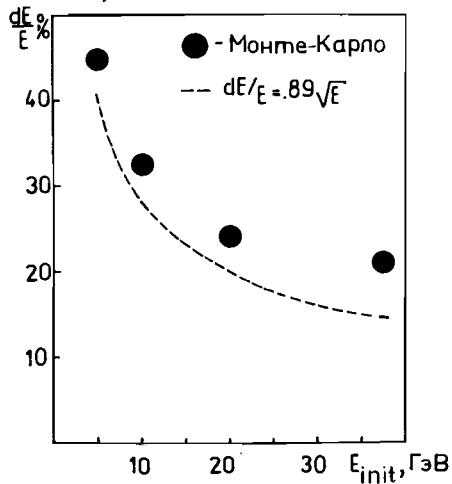


Рис.3. Зависимость числа взаимодействий каонных нейтрино /антинейтрино/ от импульса $K^+(K^-)$ -мезонов.

представлял собой сборку, аналогичную адронному калориметру КМН сечением $2 \times 2 \text{ м}^2$ без центрального отверстия. Предварительное исследование показало, что такие размеры практически устраняют вероятность утечки ливня в поперечном направлении.

Рабочий набор статистики предполагается проводить при импульсах пучков каонов 35 ГэВ/с и 25 ГэВ/с для K^+ и K^- соответственно. Эти величины, определяющие интервал возможных энергий пионов, получены в ходе предварительных расчетов и являются



оптимальными для набора статистики взаимодействий меченых нейтрино /рис.3//6/.

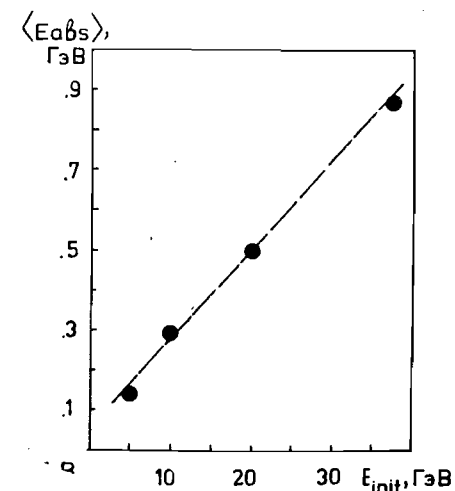
На рис.4 приведены результаты моделирования зависимости энергетического разрешения адронного калориметра от энергии первичных π -мезонов. Расчетные

Рис.4. Зависимость энергетического разрешения калориметра от энергии первичных π -мезонов: \bullet - расчет методом Монте-Карло, --- - фит экспериментальных данных.

точки хорошо описываются зависимостью $dE/E_{m-c} = 1,05/\sqrt{E}$. При энергии пучка 10 ГэВ разрешение калориметра составило $\approx 32\%$, а при $37,5 \text{ ГэВ}$ - 21% . Пунктирной кривой показана аппроксимация экспериментального результата, полученного во время методического сеанса в марте 1989 года на пучке π^- -мезонов с энергией $37,5 \text{ ГэВ}$. В качестве детектора использовалась сборка из 16 модулей ($dE/E_{\text{exp}} = 0,89/\sqrt{E}$)¹⁷⁷. Отличие предсказаний моделирования от фита экспериментальных данных составляет $\approx 5\%$ /32% - Монте-Карло, 27% - фит экспериментальных данных/ при энергии первичных частиц 10 ГэВ . Разница может быть связана как с недостатками используемого пакета /например, развитие электромагнитных ливней рассчитывается внутри "GHEISHA", а не "EGS-code"/, так и с тем, что экспериментальные данные были получены лишь для одного значения энергии $37,5 \text{ ГэВ}$, и оценка энергетического разрешения может быть завышена.

На рис.5 представлена зависимость детектируемой энергии ливня от импульса первичной частицы. Как и предполагалось, функция отклика калориметра в исследуемом диапазоне по энергии первичной частицы линейна.

В первоначальном варианте адронный калориметр представлял собой сандвич железо - сцинтиллятор $40 \times (2 \text{ см Fe} + 1 \text{ см Sci})$. Впоследствии в качестве рабочего варианта был принят детектор с толщиной активных слоев $0,5 \text{ см}$. Это существенно упрощало процесс изготовления пластин сцинтиллятора и, что немаловажно, уменьшало стоимость работ. При этом, по нашим оценкам, характеристики калориметра /в первую очередь энергетическое разрешение/ практически не изменялись, т.к. и "длина" калориметра, и sampling-флуктуации определяются количеством пассивного поглотителя и толщиной его слоев.



На рис.6 приведена зависимость энергетического разрешения адронного калориметра от толщины активного слоя. Моделирование проводилось для пучков π^\pm -мезонов с энергией 10 ГэВ . Разрешение более "массивного" детектора лучше на $2-3\%$, его "длина" -

Рис.5. Функция отклика калориметра в зависимости от энергии первичной частицы.

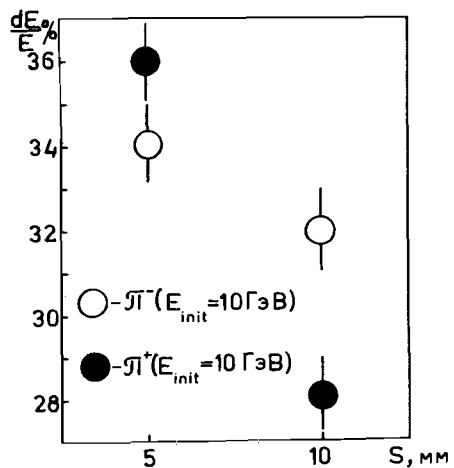
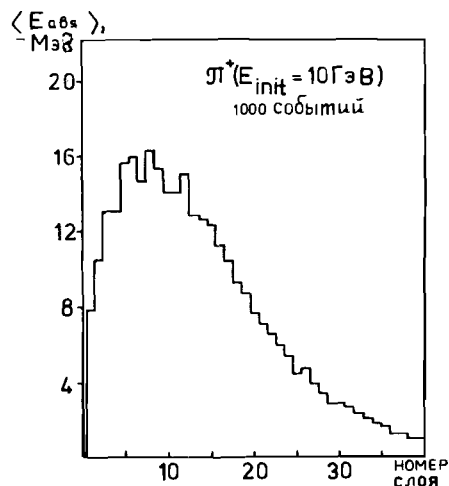


Рис.7. Распределение детектируемой энергии в зависимости от номера активного слоя.

Рис.6. Зависимость энергетического разрешения от толщины активного слоя.



5,25 ядерных длин вместо 4,97, что не является заметным улучшением характеристик калориметра.

Рис.7 показывает зависимость детектируемой энергии от номера активного слоя. В принципе, есть два альтернативных варианта расположения калориметра в канале, различающихся поворотом его на 180°. Вариант расположения "наоборот" позволяет использовать при технических работах механизмы, ранее установленные для сборки электромагнитного калориметра "GEPARD"/8/. В предположении, что амплитуда детектируемого сигнала падает в световоде по закону $A = A_0 \exp(-L/L_0)$, где L - расстояние до ФЭУ, а L_0 - длина затухания световода / ≈ 6 метров/, отношение полного детектируемого сигнала для двух вариантов расположения $A/A_{back} = 0,94$, т.е. при перевороте детектора мы "выигрываем" в количестве фотонов, дошедших до фотоумножителя. В то же время при таком расположении более всего ослабляется сигнал, приходящий из "хвоста" каскада, что может привести к систематической потере части информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе приведены результаты моделирования с помощью программы "GHEISHA" характеристик адронного калориметра КМН - одного из базовых экспериментов на ускорителе ИФВЭ У-70.

Полученные расчеты сравнены с имеющимися экспериментальными данными. Результаты работы позволяют сделать вывод о возможности использования данного пакета программ в будущем, при обработке экспериментальных данных с целью получения физических результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Messel H., Crawford D.F. Electron-Photon Shower Distribution Function. N.Y.: Pergamon Press, 1970.
2. Ford R.L., Nelson W.R. The EGS Code System: Computer Program for the Monte-Carlo Simulation of Electromagnetic Cascade Shower (version 3). - SLAG Report, 1978, No.210.
3. Штерн Б.Е. SIMEX-1. - Препринт ИЯИ АН СССР, П-0082, 1978.
4. Fesefeldt H. The Simulation of Hadronic Shower - Pitha'85/02.
5. Brun R. et al. - "GEANT3" DD/EE/84-1.
6. Денисов С.П. Пучки меченых нейтрино - новый шаг в методике нейтринных исследований. Текст лекций. М.: Изд-во МИФИ, 1984.
7. Алеев А.Н. и др. - Препринт ОИЯИ Р1-89-434, Дубна, 1989.
8. Буянов В.М. и др. - Препринт ИФВЭ 89-45, Серпухов, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 ноября 1989 года.