

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

1-84-350

А.С.Водопьянов, В.Врба, Н.И.Зимин,
И.А.Тяпкин, Э.Н.Цыганов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЯДЕРНО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИВНЕЙ
В АДРОННОМ КАЛОРИМЕТРЕ
УСТАНОВКИ ДЕЛФИ**

1984

В состав универсального детектора ДЕЛФИ/1/, утвержденного в качестве одной из четырех экспериментальных установок для проведения исследований на ЛЭП /ЦЕРН/, будет входить адронный калориметр. Подготовительные работы по созданию этого прибора проводятся в ОИЯИ и ИФВЭ /Серпухов/, а также в ряде других институтов, входящих в коллаборацию.

Адронный калориметр необходим прежде всего для регистрации нейтральных адронов, что позволит точнее измерять энергию адронной компоненты и проводить более корректный анализ кварковых и глюонных струй. Кроме того, этот калориметр позволит отбирать события с большим недостающим поперечным импульсом или энергией и прямо измерять эксклюзивное рождение адронов.

Как известно, адронный калориметр установки ДЕЛФИ будет состоять из цилиндрической части с минимальным радиусом ~3 м и длиной 7,6 м и торцевых крышек высотой приблизительно 4 м. Тем самым обеспечивается близкая к 4π геометрия. Ядро магнита, набранное из пластин железа толщиной 5 см, служит в качестве вещества-поглотителя. Эти пластины прослоены пластиковыми трубками, работающими в самогасящемся стримерном режиме. Таким образом, цилиндрическая часть калориметра будет состоять из 22 чередующихся слоев железных пластин и трубок, а торцевые крышки - соответственно из 21 таких слоев.

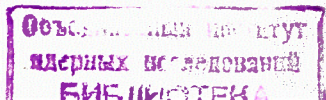
Принцип действия адронного калориметра основан на том, что высокоэнергетичный адрон, проходя через вещество калориметра, образует ядерно-электромагнитный каскад. Регистрируя число стримеров, возникающих в активных элементах калориметра за счет ионизационных потерь заряженной компоненты в газе, можно восстановить начальную энергию первичной частицы.

Для моделирования работы адронного калориметра установки ДЕЛФИ предполагается использовать программу TATINA, разработанную Т.Барончелли^{1/2/} и адаптированную на ЭВМ CDC-6500 ОИЯИ.

Программа TATINA использует квазиэксклюзивный подход для описания адронных взаимодействий, т.е. для генерации эксклюзивных событий используются экспериментальные инклюзивные пространственные распределения, при этом закон сохранения энергии и импульса выполняется приближенно. Эта программа учитывает следующие закономерности:

1. Сечение взаимодействия адронов зависит от их энергии, типа и вещества, учитывается резонансный характер взаимодействия пионов, если их энергия ниже 2 ГэВ.

2. Средняя множественность вторичных частиц логарифмически зависит от начальной энергии, в каждом акте множественность разыгрывается по закону Пуассона.



3. Одна из вторичных частиц того же сорта, что и налетающая /так называемая "лидирующая" частица/, имеет существенно больший импульс, чем остальные вторичные частицы. В 10% случаев допускается переход типа частицы к другому члену изотопического мультиплета.

4. При взаимодействии частицы с ядром учитывается фермиевское движение нуклонов и потери энергии на ядерную фрагментацию.

5. Учитывается вероятность распадов пионов и каонов при их движении в веществе калориметра.

6. Предполагается, что вторичные частицы могут образовываться тогда, когда импульс частицы-родителя выше порога.

7. При прохождении заряженных частиц через вещество учитываются многократное рассеяние и ионизационные потери. Для частиц с импульсом меньше порога прослеживается их пробег до остановки.

8. Нейтральные пионы мгновенно распадаются на 2 γ -кванта, которые генерируют электромагнитную компоненту каскада. При этом учитываются тормозное излучение, образование электрон-позитронных пар и комптоновское рассеяние.

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик работы программы является среднее время, затрачиваемое на генерацию одного ядерно-электромагнитного ливня. Для программы TATINA это время линейно возрастает приблизительно от 5 до 40 с при изменении энергии начального адрона от 5 до 30 ГэВ.

Усредненная по 100 начальным протонам с энергией 10 ГэВ при их нормальном падении на одну из секций цилиндрической части адронного калориметра пространственная картина развития и поглощения ядерно-электромагнитного ливня показана на рис.1. На этом рисунке представлена проекция плотности точек взаимодействия частиц ливня в веществе на плоскость, проходящую через ось ливня. Отчетливо видно, что плотность точек взаимодействия существенно ниже в газовых промежутках, чем в железных пластинах поглотителя.

Каскадные кривые /рис.2/, характеризующие развитие и поглощение адронной компоненты ливня в продольном направлении, сравнивались с результатами, полученными с помощью других программ моделирования ядерных каскадов /3,4/. Видно, что для ливней, создаваемых начальными пионами, наблюдается удовлетворительное согласие с результатами других авторов, в то время как для ливней, создаваемых протонами, имеет место систематическое занижение плотности адронных взаимодействий.

Развитие ливня в поперечном направлении /рис.3/ качественно согласуется с расчетами /4/, выполненными для протонов.

Относительное содержание заряженной компоненты ливня, частицы которой могут регистрироваться дрейфовыми трубками калориметра, для различных начальных энергий пионов показано на рис.4. Из рисунка видно, что вклад электромагнитной компоненты с увеличением энергии возрастает, что связано с увеличением множест-

Рис.1. Пространственная картина развития ядерно-электромагнитного ливня.

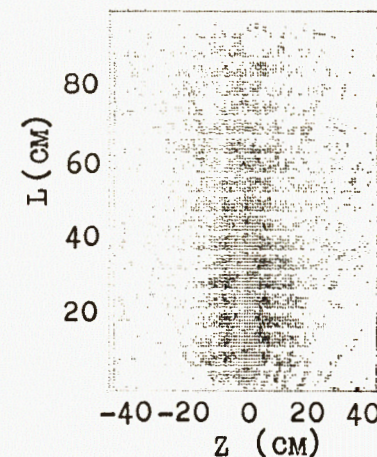
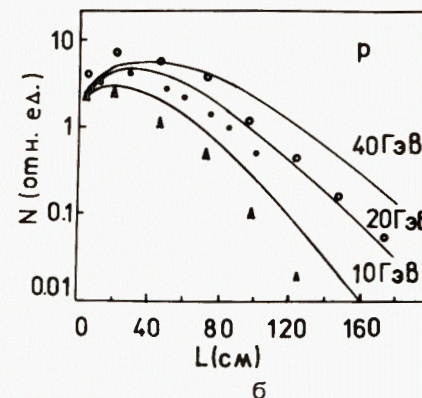
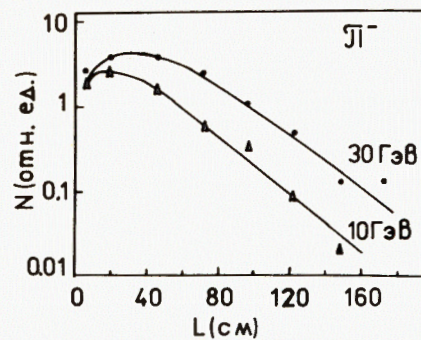


Рис.2. Продольное распределение адронных звезд в блоке железа. а - начальная частица ливня π^- -мезон, б - протон.



венности образования π^0 -мезонов. Поскольку основная часть энергии ядерно-электромагнитного каскада выделяется в поглотителе, в детекторах будет регистрироваться лишь малая доля энергии первичной частицы. Распределение энерговыделения по толщине калориметра /рис.5/ качественно повторяет форму каскадной кривой. Ошибки, характеризующие точность расчетов, были получены с помощью оценки дисперсии по ряду статистически независимых серий генерации ливней. Отметим, что точность, получаемая при проведении расчетов с помощью программы TATINA, не хуже 20% для 100 начальных частиц.

Среднее энерговыделение во всех активных элементах калориметра для различных начальных энергий пионов показано на рис.6. Отметим, что для пионов с энергией 30 ГэВ приблизительно 13% начальной энергии уносится через заднюю стенку калориметра, что приводит к нелинейности роста энерговыделения от начальной энергии.

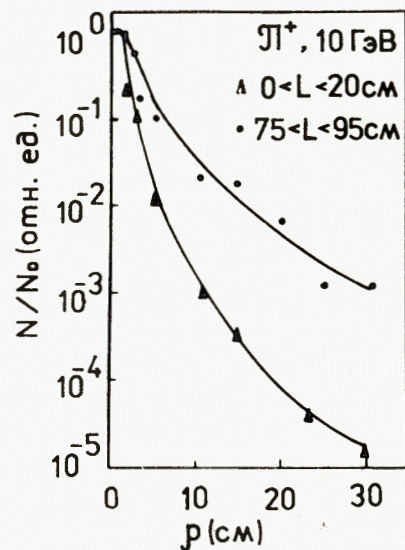


Рис.3. Поперечное распределение ливня в калориметре.

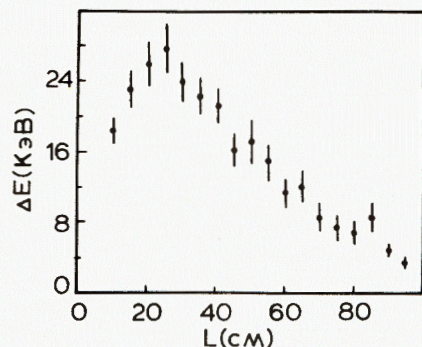


Рис.5. Энерговыведение по толщине калориметра.

Энергию в калориметре можно измерять с помощью регистрации числа частиц, проходящих через активные элементы, считая, что в среднем каждая частица испытывает одинаковые ионизационные потери. Такой принцип будет использован в адронном калориметре установки ДЕЛФИ. Рис.7 иллюстрирует среднее число частиц, имеющих ионизационные потери энергии больше 0,5 кэВ в сантиметровом зазоре аргона, который является основной компонентой газа, заполняющего дрейфовые трубки. На рис.8 показаны распределения числа таких частиц для двух начальных энергий пионов. Отноше-

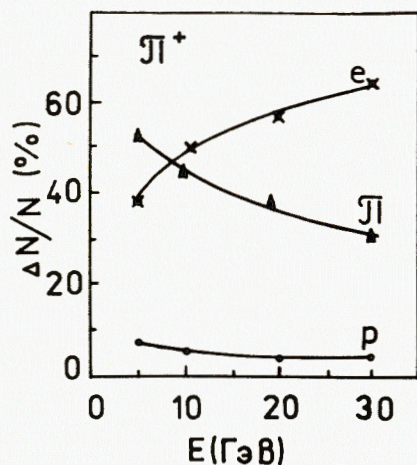


Рис.4. Относительное содержание частиц в ливне в зависимости от энергии π^+ -мезонов.

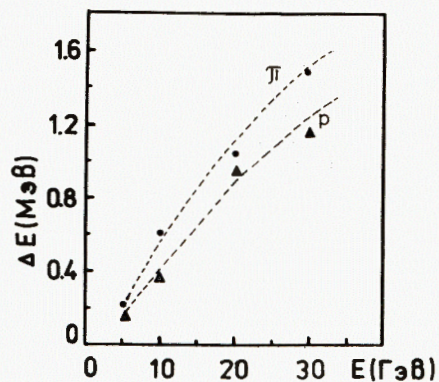


Рис.6. Зависимость энерговыведения в детекторах от начальной энергии адронов.

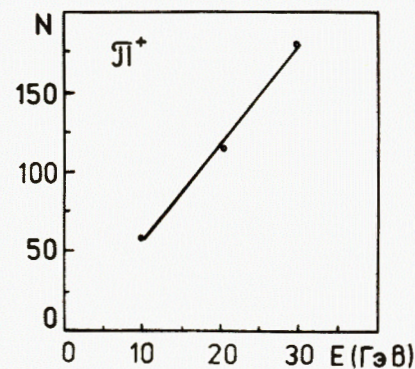


Рис.7. "Число отсчетов" детектора в зависимости от энергии.

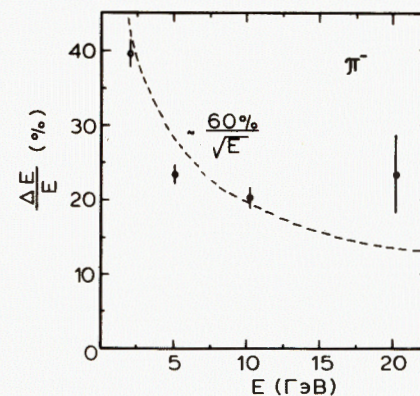


Рис.9. "Идеальное" разрешение калориметра, полученное без учета особенностей работы дрейфовых трубок. Это разрешение в некотором смысле "идеальное", поскольку оно получено без учета особенностей работы дрейфовых трубок.

Основные выводы работы можно сформулировать следующим образом:

1. Программа TATINA удовлетворительно описывает развитие и поглощение ядерно-электромагнитных каскадов /когда начальной частицей ливня является пион/ и дает более быстрое затухание ливней /для начальных протонов/.

2. Получена оценка энерговыведения в детекторах калориметра и среднего числа частиц, имеющих ионизационные потери в газе активных элементов калориметра больше 0,5 кэВ.

3. Приведена оценка "идеального" разрешения калориметра в зависимости от начальной энергии адронов без учета особенностей работы дрейфовых трубок.

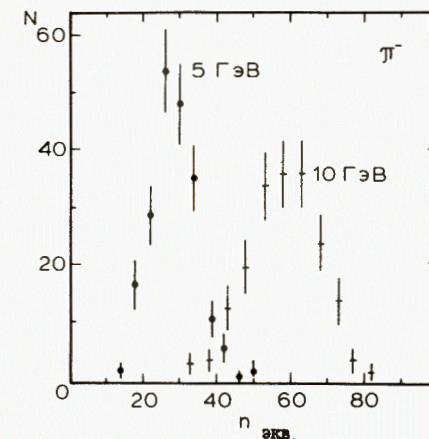


Рис.8. Распределение числа частиц, имеющих ионизационные потери больше 0,5 кэВ в газовых промежутках калориметра.

ние среднеквадратичного отклонения к среднему числу частиц, полученное из рис.8, и аналогичных данных для других энергий, показано на рис.9 и иллюстрирует разрешение адронного калориметра.

Эти результаты могут быть проверены при проведении испытаний прототипа адронного калориметра.

В заключение авторы выражают благодарность Т.А.Ногиной за помощь при проведении численных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. DELPHI TECHNICAL PROPOSAL. CERN/LEPC/83-3, Geneva, 1983.
2. Baroncelli A. Nucl.Instr. and Meth., 1974, vol.118, p.445.
3. Grant A. Nucl.Instr. and Meth., 1975, vol.131, p.167.
4. Ranft J. Nucl.Instr. and Meth., 1967, vol.48, p.261.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XU Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Водопьянов А.С. и др.

1-84-350

Моделирование ядерно-электромагнитных ливней
в адронном калориметре установки ДЕЛФИ

С помощью программы TATINA проведено моделирование развития и поглощения ядерно-электромагнитных ливней, возникающих в адронном калориметре установки ДЕЛФИ, с целью получения некоторых характеристик этого прибора. Представлены пространственные характеристики каскадов, энерговыделение и "идеальное" разрешение калориметра в зависимости от начальной энергии адронов. Проведено сравнение с результатами расчетов других авторов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Vodopyanov A.S. et al.

1-84-350

Simulation of Nuclear Electromagnetic Showers
in Hadronic Calorimeter of DELPHI Installation

The Monte Carlo calculation of development and attenuation of hadron and electromagnetic cascades has been carried out for the DELPHI hadron calorimeter using the TATINA program. The longitudinal and lateral profiles, energy deposition and "ideal" resolution of the hadron calorimeter are presented as a function of initial hadron energy. The results are compared with the calculations of other authors.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984