

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Э-24

Д1-88-83

**ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОТОТИПА АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА
УСТАНОВКИ ДЕЛФИ**

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

1988

А.С. Водопьянов, В.М. Головатюк, Н.И. Зимин, А.И. Зинченко,
Р.Б. Кадыров, В.Н. Поздняков, В.Н. Рыжов, А.Б. Садовский, Ц. Спасов,
В.Г. Тимофеев, И.А. Тяпкин, Н.А. Филатова, Э.Н. Цыганов, М.Д. Шафранов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Г.А. Аколджанов, Г.И. Сорокин
Институт физики высоких энергий, Серпухов
К.Г. Денисенко
Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, Ленинград
И.Войтковска, З.Гузик
Институт ядерных исследований, Свекл, ПНР

1. Введение

Основной целью проведенных исследований было изучение характеристик адронного калориметра в различных режимах работы его детекторов и сравнение нескольких вариантов считываемой электроники. В работах/1,2/ было показано, что основной причиной отказов пластиковых трубок с резистивным покрытием катода, используемых в качестве детекторов адронного калориметра ДЕФФ/З/, при их работе в самогасящемся стримерном режиме является возникновение самоподдерживающегося темнового тока. Возникновение такого разряда определяется поведением высококорезистивного графитового покрытия катода в условиях сильного точного характера стримерного разряда.

Для повышения надежности работы детекторов было предложено уменьшить коэффициент газового усиления до величины, соответствующей области насыщенного пропорционального режима, и использовать при этом более чувствительную считывающую электронику.

В данной работе исследовано влияние снижения газового усиления детекторов на энергетическое разрешение калориметра и изучено отношение сигнал-шум, определяющее возможность использования калориметра в выработке мюонного запуска установки.

2. Описание установки

Исследования проводились на прототипе адронного калориметра размером $1 \times 1 \text{ м}^2$ (рис. 1). По своей конструкции он аналогичен модулю адронного калориметра ДЕФФ/З/. Пластиковые трубки, которыми оснащен прибор, представляют собой в газоразрядных детекторах сечением $9 \times 9 \text{ мм}^2$ и длиной 1 м с резистивным катодом, помещенным в один газовый объем. В качестве анода использовалась Cu-Ве проволока диаметром 60 мкм . Резистивность графитового покрытия катода была понижена по сравнению с обычными детекторами такой конфигурации в среднем до величины около 10 Ом/кв.см . Следует отметить, что аналогичный способ повышения надежности детекторов был применен и на установке UA1 при создании усовершенствованной мюонной системы (трубки на этой установке имели катод с резистивностью

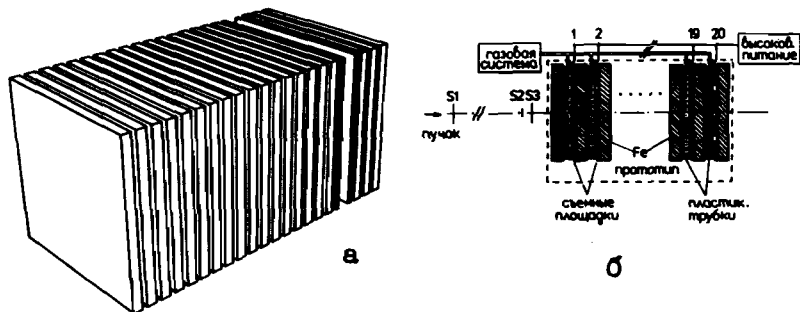


Рис.1. а)-внешний вид прототипа адронного калориметра, б)-схематическое изображение экспериментальной установки.

2 кОм/квadrat^{4/}). Съем сигнала в прототипе адронного калориметра ДЕЛФИ осуществлялся с помощью считывающих электродов, разделенных на 16 площадок размером 25x25 см². Для передачи сигналов от съемных площадок на вход электроники использовались полосковые кабели той же конфигурации, что и в реальном адронном калориметре ДЕЛФИ. Из-за малой резистивности графитового покрытия мы использовали трубки без верхней крышки, что позволило избежать эффекта электростатического экранирования. Как и в адронном калориметре ДЕЛФИ, пять последовательных по глубине площадок, объединенных в башню, регистрировались одним каналом электроники. В качестве рабочей применялась газовая смесь аргон-изобутан в пропорции 1:3.

Изучение характеристик прототипа адронного калориметра в различных режимах работы его детекторов проводилось как на пучке протонов с импульсом 6 ГэВ/с синхрофазотрона ОИЯИ, так и на фоне космических мюонов. В эксперименте использовались ЗЦП LeCroy 2249, позволяющие регистрировать сигналы в большом диапазоне их амплитуд, и специально разработанные в ИФВЭ для адронного калориметра ДЕЛФИ ЗЦП^{5/}.

3. Характеристики адронного калориметра в различных режимах работы детекторов

Для определения напряжения перехода газового разряда из пропорциональной области в область самогасящегося стримерного разряда получена зависимость наиболее вероятной амплитуды сигнала с анода пластиковой трубки, помещенной перед установкой, от анодного напряжения (рис. 2). На рис. 3 изображена счетная

Рис.2. Зависимость наиболее вероятной амплитуды сигнала с анода пластиковой трубки от напряжения.

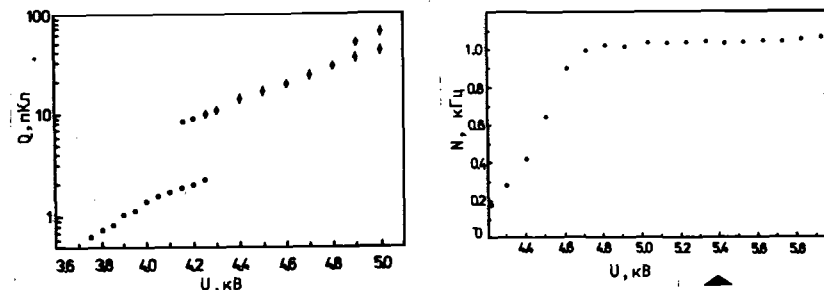


Рис.3. Счетная характеристика, типичная для детекторов прототипа адронного калориметра.

Рис.4. Зависимость суммарного сигнала с анодных проволочек калориметра от напряжения.

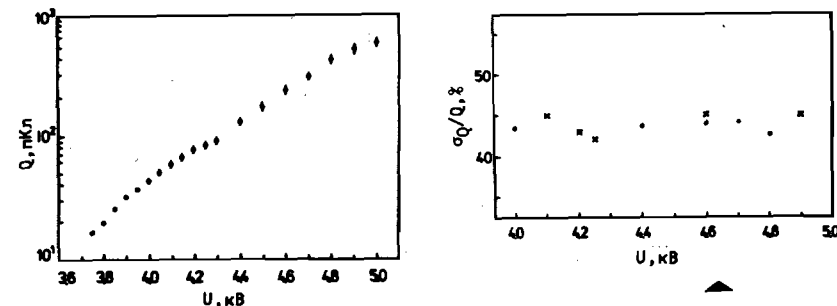


Рис.5. Зависимость энергетического разрешения прибора от напряжения: точки-сигнал с анодных проволочек, крестики-сигнал с башен.

характеристика этой же трубки, снятая при пороге регистрации 10 пКл. Области плато на данной кривой соответствует самогасящийся стримерный режим работы детекторов.

На рис. 4 показан отклик калориметра на прохождение пучка протонов. В качестве сигнала отклика принят суммарный сигнал со всех анодных проволочек прибора. Отсутствие скачкообразного перехода из одного режима в другой связано с наличием в развивающемся ядерном каскаде сильноионизирующих "мягких" частиц, для которых стримерный режим начинается при более низком анодном напряжении, чем для частиц с минимальной ионизацией.

Зависимость разрешения прибора от напряжения представлена на рис. 5. Видно, что в широком диапазоне значений анодного напряжения разрешение остается практически постоянным. При напряжении на детекторах около 4,0 кВ величина сигнала отклика на прохождение адронов через калориметр уменьшится более чем в 10 раз по сравнению с предложенным в работе/6/ режимом. В этой работе было предложено использовать детекторы адронного калориметра ДБЛФИ в режиме, обеспечивающем при прохождении частицы с минимальной ионизацией амплитуду сигнала с анода 50 пКл. Переход к меньшим амплитудам увеличит стабильность и надежность калориметра, при этом не произойдет ухудшения энергетического разрешения калориметра.

Рис. 6. Зависимость отклика адронного калориметра от напряжения (взято из/7/): I-область пропорционального режима, II-область насыщенного пропорционального режима, III-область самогасящегося стримерного режима.

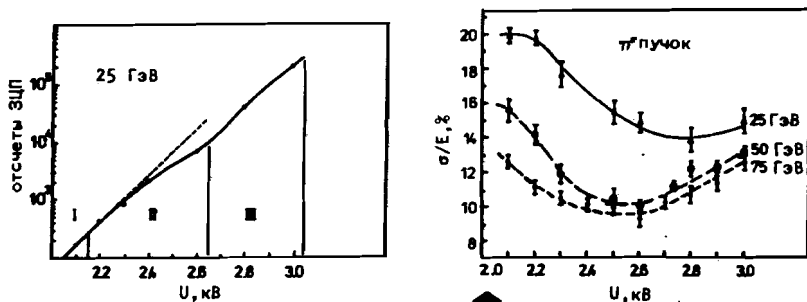


Рис. 7. Зависимость энергетического разрешения адронного калориметра от напряжения, полученная в работе/7/.

Аналогичные результаты, полученные в работе/7/, приведены на рис. 6 и 7, где изображены отклик адронного калориметра на прохождение адронов и разрешение этого прибора в зависимости от напряжения. Из рис. 7 видно, что наилучшее разрешение получается при работе детекторов в области насыщенного пропорционального режима.

Из анализа распределения на рис. 4 видно, что в предлагаемой нами рабочей точке (4,0 кВ) отклик калориметра будет приблизительно в три раза меньше, чем на границе области стримерного режима (4,3 кВ). Аналогичный переход к сигналам в три раза меньше, чем в начале области стримерного режима, в распределе-

нии на рис. 6 приводит к напряжению около 2,5 кВ, что находится в области, оптимальной по разрешению адронного калориметра при энергиях 50-75 ГэВ (рис. 7). Для мягких адронов, доля которых при энергиях ДЭП будет подавляющей/8/, выход из оптимальной рабочей точки не ведет к существенному ухудшению разрешения адронного калориметра (рис. 5 и рис. 7). По оценкам работы/8/ средний импульс адронов при распаде Z^0 составит около 2,7 ГэВ/с.

4. Использование сигнала с адронного калориметра для выработки мюонного триггера

Для обеспечения работоспособности адронного калориметра при сравнительно низком газовом усилении в детекторах в работе/5/ была предложена электроника, имеющая чувствительность 0,03 пКл/канал. Работа нескольких образцов новых карт (64 канала) была изучена на прототипе калориметра, работающем в режиме регистрации космических мюонов, при этом он был установлен в положение с вертикально направленной осью. Для исследований было выбрано анодное напряжение, которое соответствует наиболее вероятному сигналу с башни от прохождения одной релятивистской частицы, равному 3 пКл. Напомним, что башня суммирует сигналы с пяти плоскостей детекторов.

Рис. 8. (а) Спектр сигналов с отдельной башни от космических мюонов, (б) распределение нулевых отсчетов электроники.

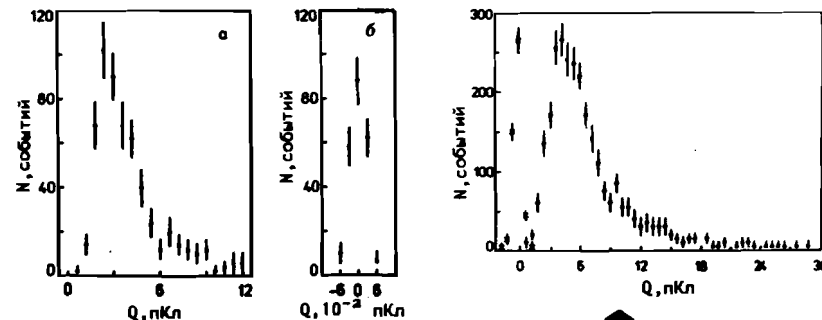


Рис. 9. Спектр сигналов с супербашни от космических мюонов: точки-сигнал, крестики-пьедестал.

На рис. 8(а) изображен спектр сигналов от космических мюонов с отдельной башни. На рис. 8(б) для сравнения показано

распределение нулевых отсчетов электроники (пьедестал), характеризующее шум электронного тракта. Среднеквадратичное отклонение этого распределения составляет менее 0,03 п.Кл. Следовательно, несмотря на высокую чувствительность электроники, наводки на сигнальный тракт являются пренебрежимыми и не могут сказаться на работе калориметра.

На рис. 9 приведен спектр сигналов с супербашни (сумма сигналов с 16 соседних башен), который позволяет сделать вывод о возможности использования адронного калориметра, работающего в насыщенном пропорциональном режиме и снабженного данной электроникой, для выработки мюонного запуска. Амплитуды сигналов несколько больше, чем на рис. 8, что может быть связано с наличием на рис. 8 событий, в которых мюон проходит не через всю толщину башни, а также с "растеканием" заряда из-за высокой резистивности катода (рис. 10). Анализ сигналов, аналогичных приведенным на рис. 9, для четырех супербашен прототипа позволяет сделать вывод о чистоте и эффективности мюонного запуска, который вырабатывается адронным калориметром, оснащенный новой электроникой и работающим в предложенном режиме. На рис. 11 приведены зависимости, характеризующие эффективность

Рис.10. "Растекание" заряда: а) сигналы с башен, площадки которых расположены вдоль трубок, б) сигналы с башен, площадки которых расположены поперек трубок. Трек мюона проходит через вторую башню.

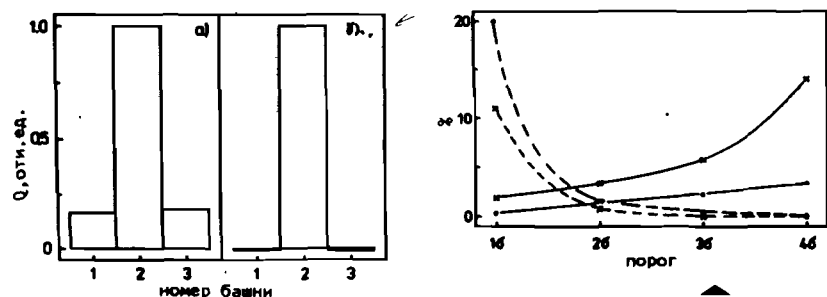


Рис.11. Кривые, характеризующие эффективность мюонного запуска, вырабатываемого при превышении сигналов с двух и трех супербашен порога, выраженного в стандартных отклонениях шумового сигнала: сплошные линии - неэффективность запуска (относительно внешнего запуска установки), штриховые линии - относительное число случайных запусков; точки - данные для двух супербашен, крестики - для трех.

триггера, вырабатываемого при превышении сигналов с двух и трех супербашен порога, выраженного в стандартных отклонениях шумового сигнала. На этом же рисунке показаны зависимости числа случайных запусков от величины порога. Очевидно, что запуск, вырабатываемый при установке порога в диапазоне три-четыре стандартных отклонения шумового распределения, отличается высокой эффективностью и малой долей случайных совпадений.

5. Развитие ядерно-электромагнитного каскада в веществе калориметра

На рис. 12 показана топология типичного события развития в калориметре ливня, возникшего от протона с импульсом 6 ГэВ/с. Вертикальными столбиками представлены амплитуды сигналов работавших башен. Из рисунка можно получить представление о продольном развитии каскада. Съем сигнала с анодных проволок дает более подробную информацию о форме продольного профиля ливня (рис. 13). Для более детального изучения особенностей работы калориметра процесс развития ядерно-электромагнитного ливня в установке исследовался с помощью моделирующих программ. На рис. 13 кривой показана форма продольного профиля ливня, полученная с помощью программы DELSIM/9/. Видно хорошее соответствие между экспериментальными и смоделированными данными. На рис. 14 приведена пространственная картина ливня для нескольких событий, которые были сгенерированы программой GNEISHA/10/.

Рис.12. Топология типичного события развития ядерно-электромагнитного каскада в калориметре.

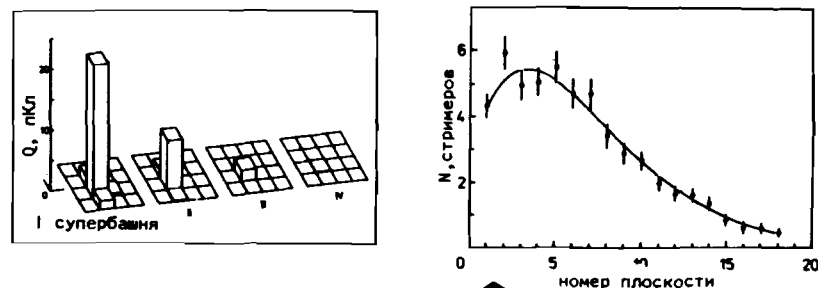


Рис.13. Продольное развитие ядерно-электромагнитного каскада в прототипе адронного калориметра (информация с анодных проволок). Кривая - результаты моделирования с помощью программы DELSIM.

На рис. 15 приведена картина, получающаяся от прохождения через прибор космического мюона. Особенности топологии мюонного события позволяют выработать дополнительные критерии отбора таких событий и восстанавливать характеристики треков прошедших через калориметр частиц. Очевидно, что такие события обеспечивают хорошую возможность для калибровки электронных трактов и тестирования установки.

Рис. 14. Двумерная картина ливня в прототипе адронного калориметра, полученная с помощью программы GHEISHA.

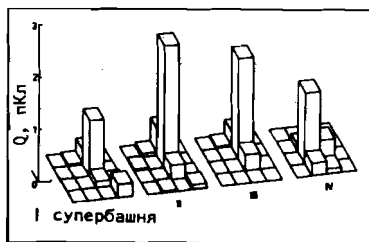
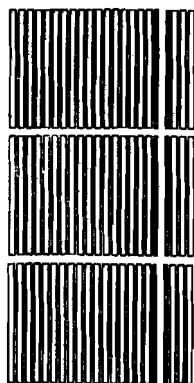


Рис. 15. Топология типичного события прохождения через прототип адронного калориметра космического мюона.

ложением процедуры восстановления энергии частиц, так как в части событий начало ливня будет иметь место в электромагнитном калориметре.

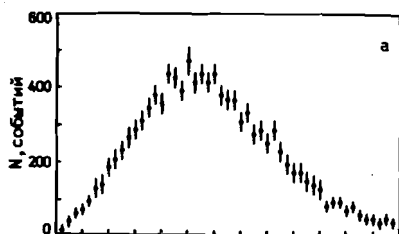
Мы смоделировали реальную ситуацию путем установки на пути пучка перед прототипом адронного калориметра сцинтиллирующего кристалла CsJ. Кристалл имел диаметр 200 мм, толщину по пучку 300 мм (17 радиационных длин) и просматривался одним фотоумножителем типа ФЭУ 49.

Процедура восстановления энергии адронов путем комбинации откликов адронного и электромагнитного калориметров производилась на основании выражения

$$E = K_{em} A_{em} + K_H A_H, \quad (1)$$

где K_{em} , K_H - коэффициенты перевода показаний ЗЦП в энергию адронов и A_{em} , A_H - отклики калориметров, выраженные в каналах ЗЦП. Восстановленный с помощью выражения (1) спектр энергий падающих протонов приведен на рис. 16 а). Полученное разрешение составляет 43%. Спектр на рис. 16 б) получен для смоделированных событий. Он характеризует разрешение системы из электромагнитного и адронного калориметров без учета аппаратных эффектов в установке. Отношение стандартного отклонения этого распределения к его среднему равно 36%.

Из-за разброса по глубине точек начала каскада и различного вещества калориметров простое суммирование сигналов дает искаженное значение энергии^{11/}. Отклонение от линейности в данных на рис. 17, показывающем зависимость энергии, выделенной в электромагнитном калориметре, от отклика адронного калориметра, иллюстрирует это утверждение. В настоящее время разра-



6. Электромагнитный калориметр

В установке ДЕЛФИ непосредственно перед адронным будет располагаться электромагнитный калориметр. Это приведет к ус-

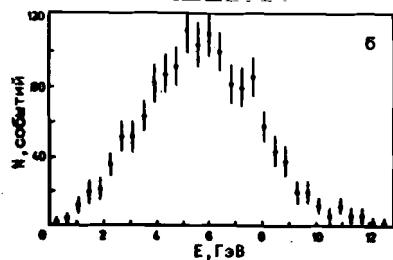


Рис. 16. Восстановленные по откликам калориметров спектры энергий падающих протонов с импульсом 6 ГэВ/с: а) экспериментальные результаты, б) результаты моделирования.

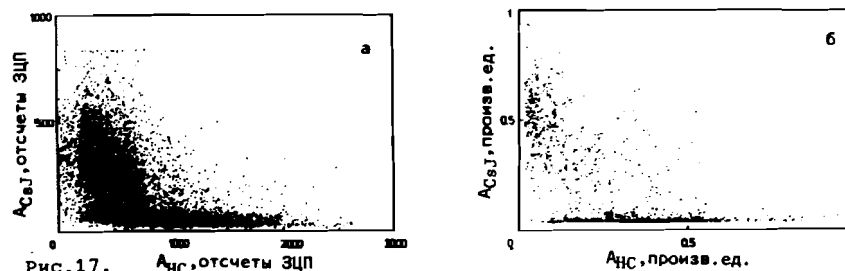


Рис. 17. Зависимость между сигналами с адронного калориметра и кристалла CsJ: а) экспериментальные результаты, б) результаты моделирования с помощью программы GHEISHA.

батывается процедура восстановления энергии, которая позволит более точно учесть характер зависимости между сигналами с электромагнитного и адронного калориметров. Это может привести к улучшению энергетического разрешения прибора.

7. Выводы

Приведенные данные, полученные на прототипе адронного калориметра установки ДЕЛФИ, позволяют сделать вывод о том, что переход в насыщенный пропорциональный режим работы детекторов и использование более чувствительной электроники не ухудшат основных характеристик адронного калориметра, позволив в то же время существенно повысить надежность его работы. Полученные результаты свидетельствуют также о хорошей возможности выделения в адронном калориметре мюонных треков и их использования для запуска установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Filatova N. A. et al., Nucl. Instr. and Meth. A243 (1986) 91.
2. Filatova N. A. et al., Nucl. Instr. and Meth. A261 (1987) 481.
3. DELPHI technical proposal. CERN/LEPC/83-3, 1983.
4. Bauer G. et al., Nucl. Instr. and Meth. A253(1987) 179.
5. Akopdjanov G. A., Sorokin G. I., IHEP, Preprint 87-49, Serpukhov, 1987.
6. Gysi E., Schneider F., CERN/EP/0023, 1986.
7. Atac M. et al., IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-30 (1983) 103.
8. Physics aims of the DELPHI collaboration, DELPHI 82-2, 1982.
9. DELPHI event generation and detector simulation: User Manual, DELPHI 85-93 PROG-34.
10. Fesefeldt H. GNEISHA: the simulation of hadronic showers, PITNA 85/02.
11. DELPHI progress report. CERN/LEPC/84-16, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 февраля 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
D2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
D4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
D2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
D14-87-799	Труды Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.

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