



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 98-72

ОЭФ

А.Н. Васильев, В.Н. Гришин, Ю.А. Матуленко, В.В. Мочалов,
А.И. Павлинов, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ УГЛОВОЙ
ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЛИВНЯ**

Протвино 1998

Аннотация

Васильев А.Н. и др. Экспериментальное изучение угловой зависимости электромагнитного ливня: Препринт ИФВЭ 98-72. – Протвино, 1998. – 11 с., 10 рис., 1 табл., библиогр.: 4.

Представлены экспериментальные результаты по изучению зависимости формы и восстановленной энергии электромагнитного ливня в детектора на основе свинцового стекла при энергии пучка 26,6 ГэВ. Измерения проводились при углах от 0 до 20°. Показана необходимость учета утечек за размер 5x5 ячеек при углах более 10 градусов. Поправка на утечки дает возможность правильно восстановить массу π^0 -мезонов. В области до 10 градусов нет необходимости вводить дополнительные поправки для восстановления координаты.

Abstract

Vasiliev A.N. et al. Experimental Study of Angular Dependence of the Electromagnetic Shower: IHEP Preprint 98-72. – Protvino, 1998. – p. 11, figs. 10, tables 1, refs.: 4.

The experimental result of the shape and reconstructed energy of the electromagnetic shower on dependence of the angle is presented. The measurements were made for lead glass calorimeter at 26.6 GeV at different angles from 0 to 20 degrees. It is necessary to take into account energy outside 5x5 cells for angles bigger than 10 degrees. At smaller angles the coordinates are reconstructed with sufficient accuracy without any special procedure.

Введение

В экспериментах с регистрацией нейтральных частиц (π^0 -, η -мезоны, γ -кванты) калориметрическим спектрометром обычно поперечный размер последнего значительно меньше расстояния от мишени до детектора. В этом случае угол падения частицы на детектор слабо зависит от ее координаты. Если же угол входа частицы меняется сильно, применяется разделение калориметра на несколько частей, каждая из которых ставится под соответствующим углом. Однако такая конфигурация установки не всегда представляется возможным (из-за геометрии эксперимента или по другим конструктивным соображениям). При этом встает вопрос о правильном восстановлении электромагнитного ливня под углом с возможно более точным воспроизведением энергии и/или координат частицы.

Регистрация γ -спектрометром электромагнитных ливней от частиц, падающих под углами, отличными от 90° , изучалась в работах [1], [2]. Дополнительное изучение этого вопроса в данной работе вызвано спецификой расположения одного из детекторов установки ПРОЗА-М: спектрометр регистрировал γ -кванты в интервале углов $7^\circ - 14^\circ$, соответствующих π^0 -мезонам в задней полусфере системы центра масс. В результате, например, восстановленная масса была меньше (см. рис. 1) табличной. Изучению восстановления энергии таких “косых” ливней и посвящена настоящая работа.

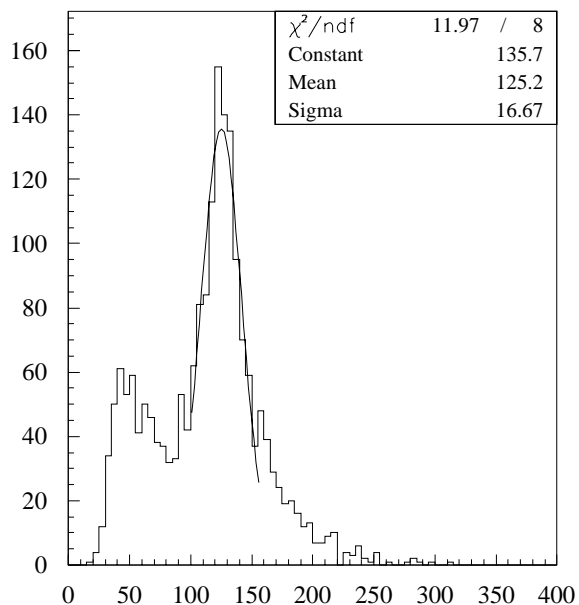


Рис. 1. Масса π^0 -мезонов без поправок.

Процедура измерений

Для изучения угловой зависимости формы ливня использовался пучок вторичных электронов с энергией 26,6 ГэВ на 14-ом канале ускорителя У-70. Угол падения частиц на детектор менялся от 0° до 20° . При пяти значениях угла — 0° ; 5° ; 10° ; 15° и 20° — было набрано около 150 тыс. триггеров.

Подробное описание установки приведено в работах [3]. Для наших исследований мы использовали только пучковую аппаратуру и один электромагнитный калориметр.

Пучковая аппаратура состояла из запускающих сцинтилляционных счетчиков S1-S3 (для наведения использовался также пальчиковый счетчик S4) и двух двух-плоскостных годоскопов: первый годоскоп состоял из 16 палочек шириной 5 мм, а второй из 12 элементов шириной 2 мм. Годоскопы находились на расстояниях 11,5 и 6,0 м от детектора соответственно. Координатное разрешение годоскопов в такой геометрии составляло около 3 мм. Подробно устройство годоскопов и питания описано в работе [4].

Так как все падающие частицы считались электронами, то триггером на запуск установки считалось совпадение запусков со всех трех счетчиков S1-S3 и запуск в каждой из четырех плоскостей годоскопов.

Во время работы ускорителя поток частиц на детектор составлял: $S1 \cdot S2 = 3 \cdot 10^3$ электронов, $S1 \cdot S2 \cdot S3 = 2 \cdot 10^3$ ($S1 \cdot S2$ — совпадение двух запускающих счетчиков, а $S1 \cdot S2 \cdot S3$ — совпадение всех трех счетчиков). Количество триггеров, принимаемых за один цикл ускорителя, было около 500. Средний размер пучка на детекторе составлял по оси x 11 мм, по оси y 9 мм (на уровне 10%). На рис. 2 показаны распределения пучка на детекторе (в ячейках детектора).

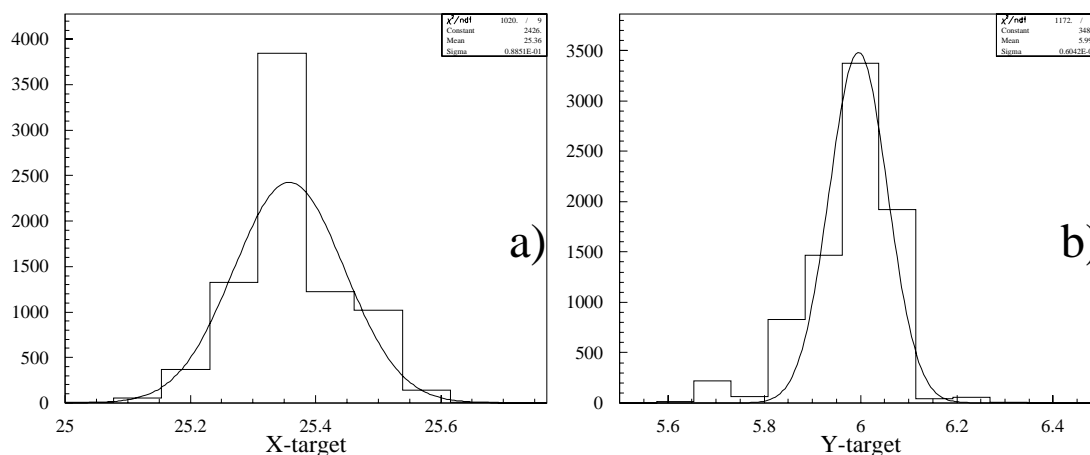


Рис. 2. Профиль пучка на детекторе.

Исследования проводились на детекторе из свинцового стекла — характеристики и структура детектора и счетчиков подробно описаны в работе [4]. Длина каждого счетчика составляла примерно 18 радиационных длин, размер ячейки — 38×38 мм². Детектор состоял из 144 (12x12) счетчиков.

Вся процедура измерений состояла из следующих этапов:

- Калибровка детектора.
- Исследование данных под углом 0° , а именно:
 - 1) привязка детектора к координате частиц пучка;
 - 2) оценка экспериментальной формы ливня из данных.
- Исследования под углами 5° , 10° , 15° и 20° .

Калибровка детектора осуществлялась стандартным образом засветкой всех ячеек детектора пучком электронов с фиксированной энергией 26,6 ГэВ. Для проверки стабильности энергетической шкалы детектора во время измерений использовалась мониторинговая система на основе светодиодов. Полученное разрешение детектора при калибровке составило (с учетом разрешения пучка) $\sigma = 2,3\%$ (или $12\%/\sqrt{E}$), что соответствует характеристикам детекторов данного типа. При этом энергия определялась по площади 3×3 счетчика.

Энергетический спектр калибровки для используемых ячеек калориметра показан на рис. 3.

Для проведения исследований под углом первоначально необходимо было осуществить геометрическую привязку детектора к пучку. Для этой цели детектор был установлен перпендикулярно оси пучка (по подготовленным ранее реперам) и были набраны 30 тыс. событий для данных измерений.

Привязка пучка к детектору (платформе) осуществлялась одновременно с изучением формы ливня. При этом считалось, что детектор является однородным, поэтому форма ливня должна быть симметрична. Таким образом, и функция распределения по энергии относительно центра счетчика для ливня $E(x)$ должна быть симметричной. При измерениях детектор по x и y был засвечен в достаточно узкой области (приблизительно по $1/3$ счетчика), при этом в разных областях: по горизонтали — на границе между двух рядов, а по вертикали — в центре столбца. Поэтому процедуры привязки по горизонтали и вертикали несколько различались.

По горизонтали пучок попадал примерно на границу 5- и 6-го столбцов, причем основная часть событий находилась в 5-м столбце. Поэтому первоначально были грубо выбраны поправочные коэффициенты, чтобы пучок по показаниям годоскопов попадал в указанный столбец.

Для привязки определялось отношение энергий в двух рядах с максимальной энергией E_5 (E_i — энергия, зарегистрированная в i -ом столбце или строчке детектора) и E_6 . Для каждого значения координаты x определялось отношение этих

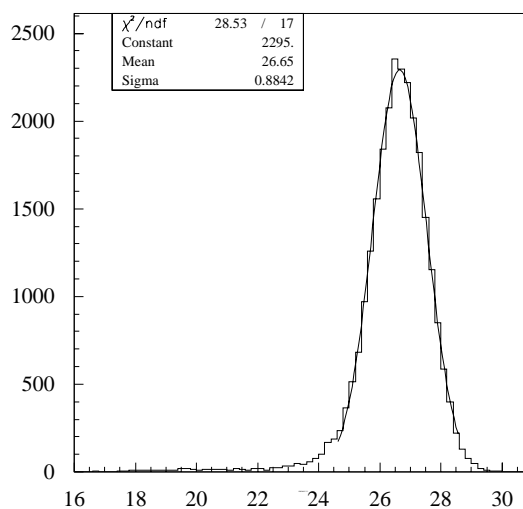


Рис. 3. Энергетический спектр калибровки.

величин друг к другу (E_5/E_6 и наоборот, E_6/E_5). Эти данные накапливались в гистограмму и отношения фитировались обратной экспонентой. При выборе точной поправки требовалось, чтобы эти отношения совпадали (в идеальном случае они должны были бы равняться единице). Из этого условия определялась граница между счетчиками. Видно, что графики (см. рис. 4 а) пересекаются в точке 5,5 счетчика, т.е. между столбцами калориметра. Смещение по x составило 0,005 счетчика или 0,02 мм, что намного превышает координатную точность пучковой аппаратуры (около 3 мм в области детектора). Поэтому более точная привязка не проводилась. Ошибка фита также составила меньше 3 мм.

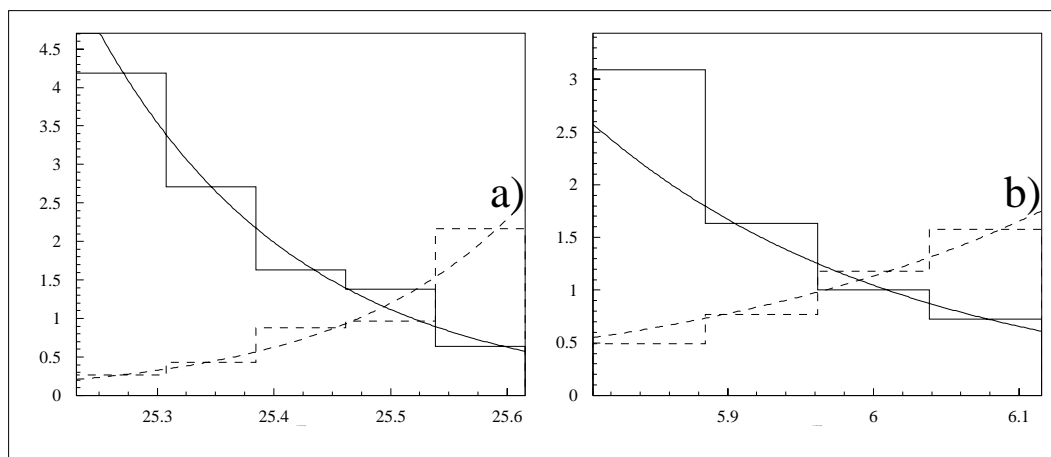


Рис. 4. Привязка пучка к детектору.

Подобная же процедура использовалась для привязки по вертикали. Разница заключалась в том, что пучок по вертикали попадал в середину шестого ряда, и поэтому находилось такое же отношение между энергиями седьмого ряда (выше максимума) и пятого ряда (ниже максимума) E_7/E_5 и E_5/E_7 в зависимости от показаний годоскопов. Также требовалось равенство при фитировании этих отношений. Полученное смещение равно 0,02 счетчика (0,8 мм).

Косвенным отношением правильности привязки и расположения детектора под нулевым углом является практическое равенство энергий, выделяемых в столбце с максимальной энергией и в строчке с максимальной энергией, — по 88% (рис. 9) и нулевое положение максимума распределения по обеим координатам. Эта величина также соответствует нашим представлениям о форме ливня.

Анализ данных

Одним из основных вопросов при исследовании формы ливня под различными углами было измерение размеров ливня и в связи с этим энергии ливня в области, по которой проводилось суммирование энергии ливня. На рис. 5 показаны энергетические распределения ливня, просуммированного по площади 3x3 (а), 5x5 (б) и

7x5 (с). На последней гистограмме (d) эти картинки приведены вместе. Видно, что вытекание за границы области 3x3 составляет известные 3%. Разницы в энергиях, собранных с площадями 5x5 и 7x5 ячеек, практически не видно.

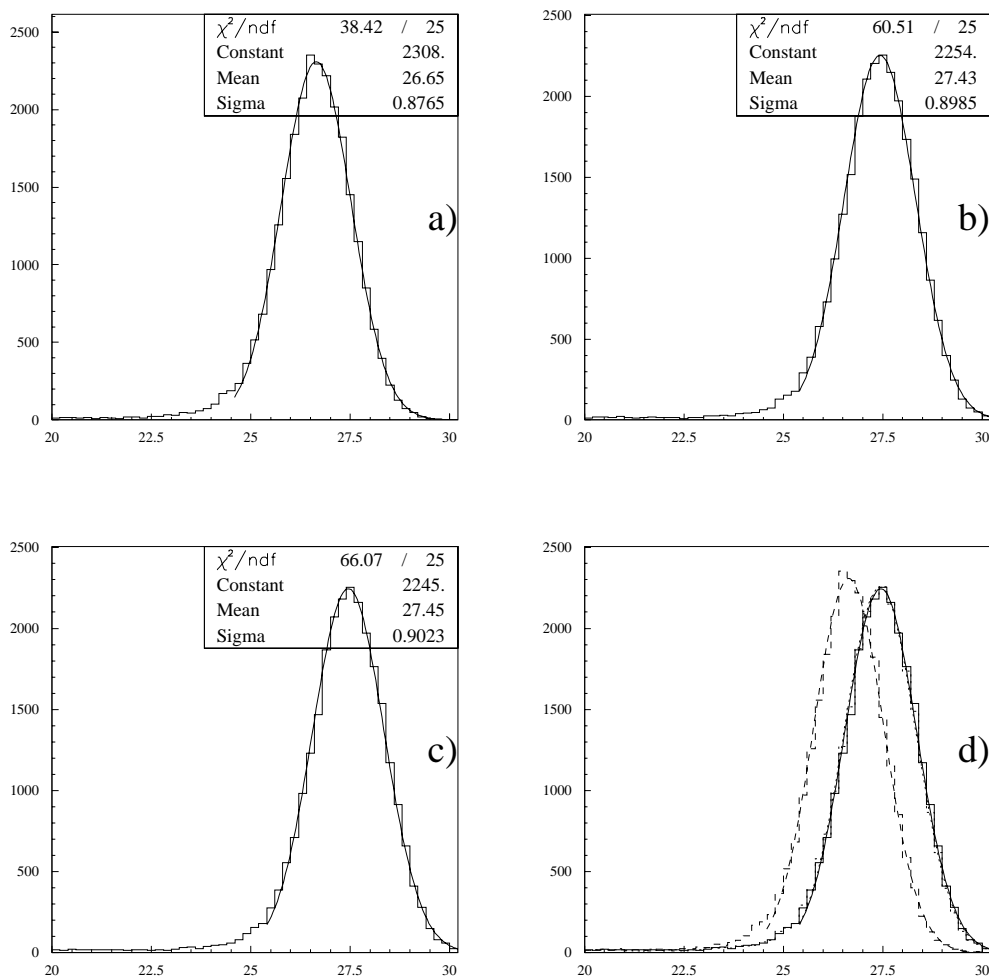


Рис. 5. Энергетические спектры для угла 0° : а) сборка 3x3; б) сборка 5x5; в) сборка 7x5; д) 3x3, 5x5 и 7x5 на одном рисунке.

При угле 5° никаких изменений не видно, если сравнивать их с данными при угле 0° . Поэтому эти распределения здесь не приведены.

В то же время, начиная с 10° видны изменения формы ливня (рис. 6) — ливень не укладывается в стандартные 3x3 ячейки, утечки за эту площадь резко возрастают. При этом величина потерянной энергии зависит от места попадания гамма-кванта в ячейку. Пучок при измерении под этим углом (так же, как и под углом в 20 градусов) попал на границу двух счетчиков. Если максимум энергии оказывался в ближнем (относительно наклона) счетчике, то энергия собиралась не полностью. Если же максимум оказывается в дальней ячейке, то можно собрать практически всю энергию. Средние утечки за область 3x3 ячейки составляют в этом случае 8%.

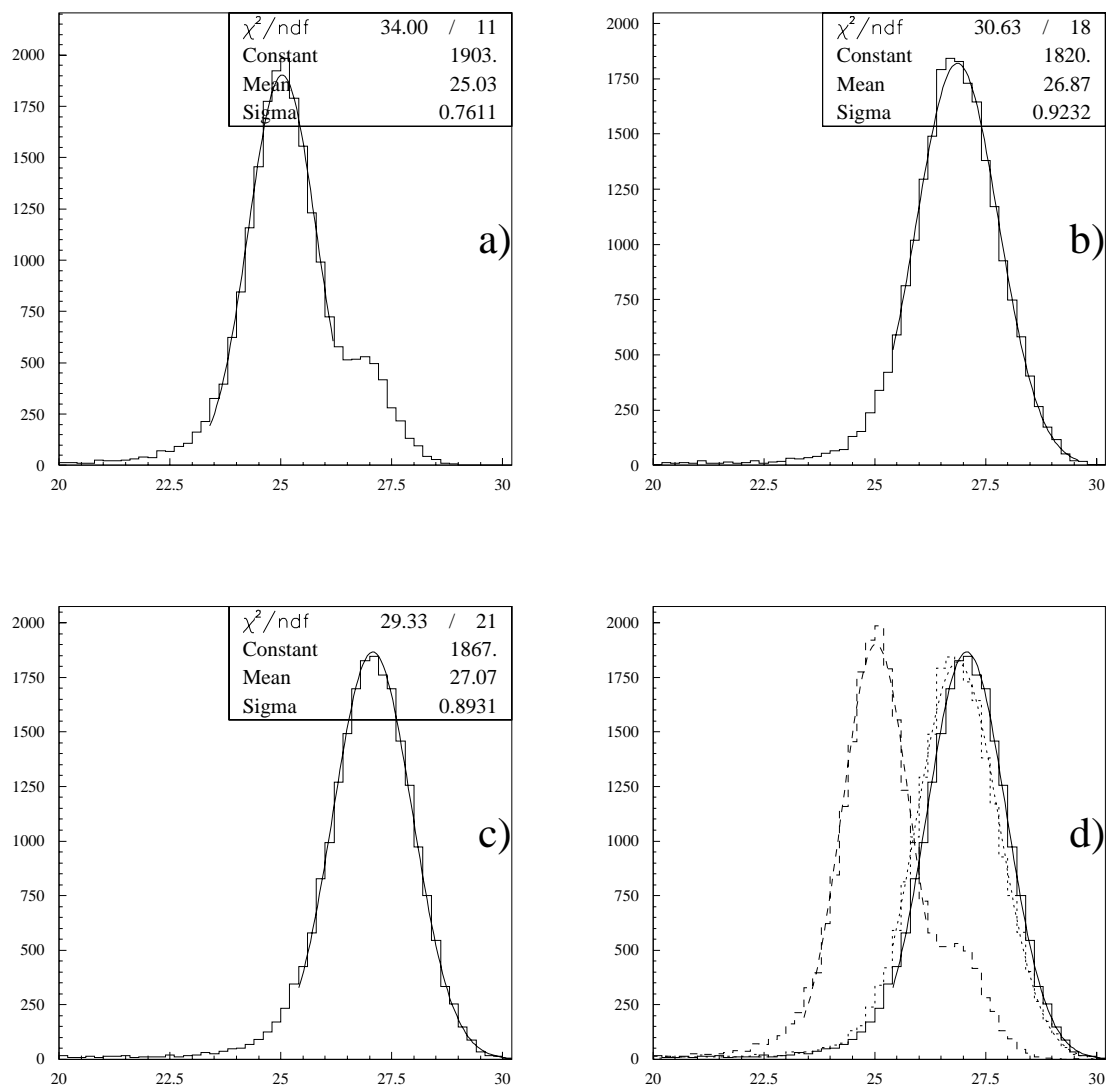


Рис. 6. Энергетические спектры для угла 10° : а) сборка 3x3; б) сборка 5x5; в) сборка 7x5; д) 3x3, 5x5 и 7x5 на одном рисунке.

В то же время видно, что энергии, собираемые с области 5x5 и 7x5 ячеек, еще мало различаются, и этими потерями пока можно пренебречь.

При угле 15° качественных изменений не происходит, однако утечки за область 3x3 становятся больше и начинаются потери энергии, собранной с области 5x5 ячеек, по сравнению с полной энергией ливня. Наглядно это становится ясно при рассмотрении данных при падении гамма-квантов на детектор под углом 20 градусов к нормали (рис. 7). В этом случае спектр уже для площади 5x5 ячеек напоминает ту же картинку, которую мы видели при 10° для площади 3x3, — становятся значительными утечки энергии уже за эту площадь регистрации ливня.

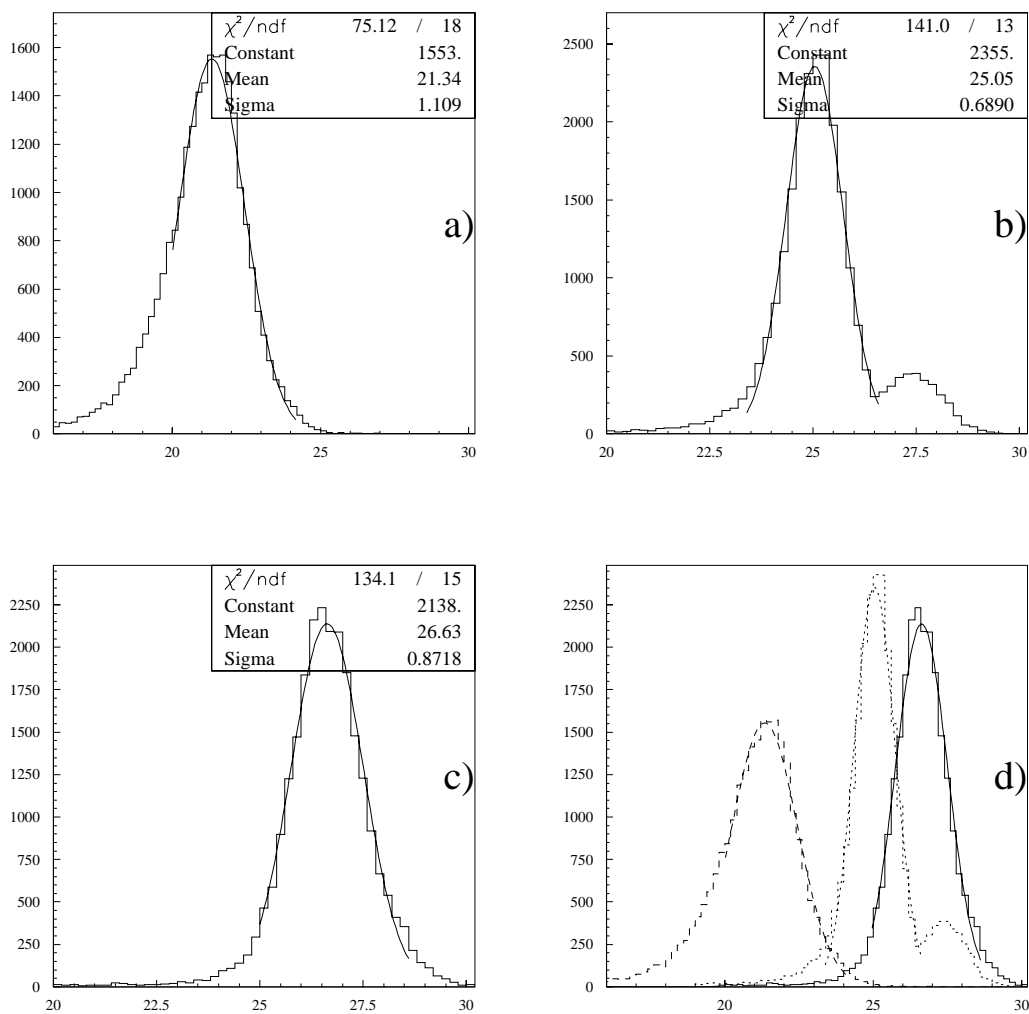


Рис. 7. Энергетические спектры для угла 20°: а) сборка 3x3; б) сборка 5x5; в) сборка 7x5; д) 3x3, 5x5 и 7x5 на одном рисунке.

Данные для всех углов собраны в таблицу. Ширина ливня приводится в ячейках калориметра. Видно, что доля энергии, собираемой с области 3x3 ячейки, падает.

Таблица 1. Характеристики ливня под разными углами.

	0°	5°	10°	15°	20°
E(3x3) (ГэВ)	26.7	25.9	25.0	24.7	21.4
E(5x3) (ГэВ)	27.1	26.3	26.5	26.4	24.6
E(5x5) (ГэВ)	27.5	26.7	26.9	26.7	25.0
E(7x5) (ГэВ)	27.5	26.7	27.1	27.0	26.6
E(максим) - x (%)	.87	.76	.60	.48	.38
E(максим) - y (%)	.88	.88	.89	.89	.92
Ширина (FWHM) - x	1.1	1.2	1.6	1.9	2.3
Ширина (2%) - x	2.2	2.4	3.6	4.2	5.2
Ширина (FWHM) - y	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0

В реальности из-за порога чувствительности аппаратуры размер кластера в детекторе составлял по площади те же “магические” 3x3 ячейки. Поэтому для правильного восстановления энергии необходимо было сделать поправку на утечянную энергию.

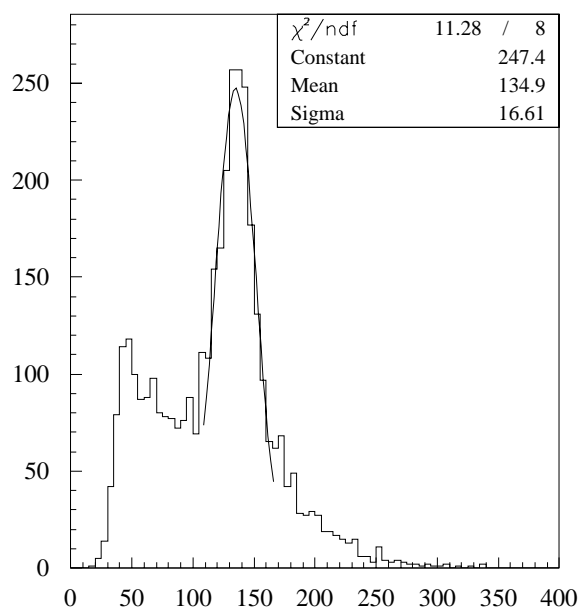


Рис. 8. Масса π^0 -мезонов с поправкой.

до точки попадания частицы в детектор. Данные показаны точками и профитированы. При углах 0° и 5° данные хорошо описываются гауссианом, а при большем угле ливень уже становился несимметричным, и данные описываются функцией вида $a(x + 2.5)^b \cdot e^{-c(x+2.5)}$. На рис. 9 показана зависимость формы ливня от угла.

Такая же процедура проводилась для столбцов (распределение по вертикали), однако для всех углов фитирование проводилось гауссианом.

Таким образом, мы видим, что для правильного восстановления энергии при углах более 10° необходимо суммировать энергию в области 7x5 счетчиков (точнее достаточно 6x5, причем несимметрично относительно максимального счетчика). При этом практически не происходит потери энергии. Потери энергии составляют не более 3%.

Заметим, что пучок был наклонен относительно детектора в горизонтальной плоскости. По вертикали не происходит никакого смещения ливня, и при этом энерговыделение в центральном ряду по крайней мере не уменьшается. По горизонтали ливень становится широким, несимметричным, и происходит смещение первого момента относительно реальной координаты (см. рис.10). Если восстанавливать координату, используя данные только трех столбцов с максимальной энергией, то восстановленная координата при углах до 10° достаточно близка к истинной даже без введения специальной поправки. В реальном эксперименте углы, под которым гамма-кванты попадали на детектор, находились в области от 7° до 15° . Средний угол 11° .

Для проверки правильности восстановления энергии электромагнитного ливня, энергия каждого электромагнитного ливня была поправлена на 8% (отношение энергии, собранной с площади 7x5 к энергии, собранной с площади 3x3). При этом средняя масса пары гамма-квантов в области массы π^0 -мезона стала равной 135 МэВ (смотри рис.). В таблице также приведены характеристики ширины ливней под разными углами.

Шаг определялся разрешением годоскопов и равнялся 3 мм. Накапливался вес (E_{cm}/E) в зависимости от расстояния центра ячейки до координаты падающей частицы. Эти данные суммировались и, по существу, заносился вес (по энергии) данного столбца в зависимости от расстояния

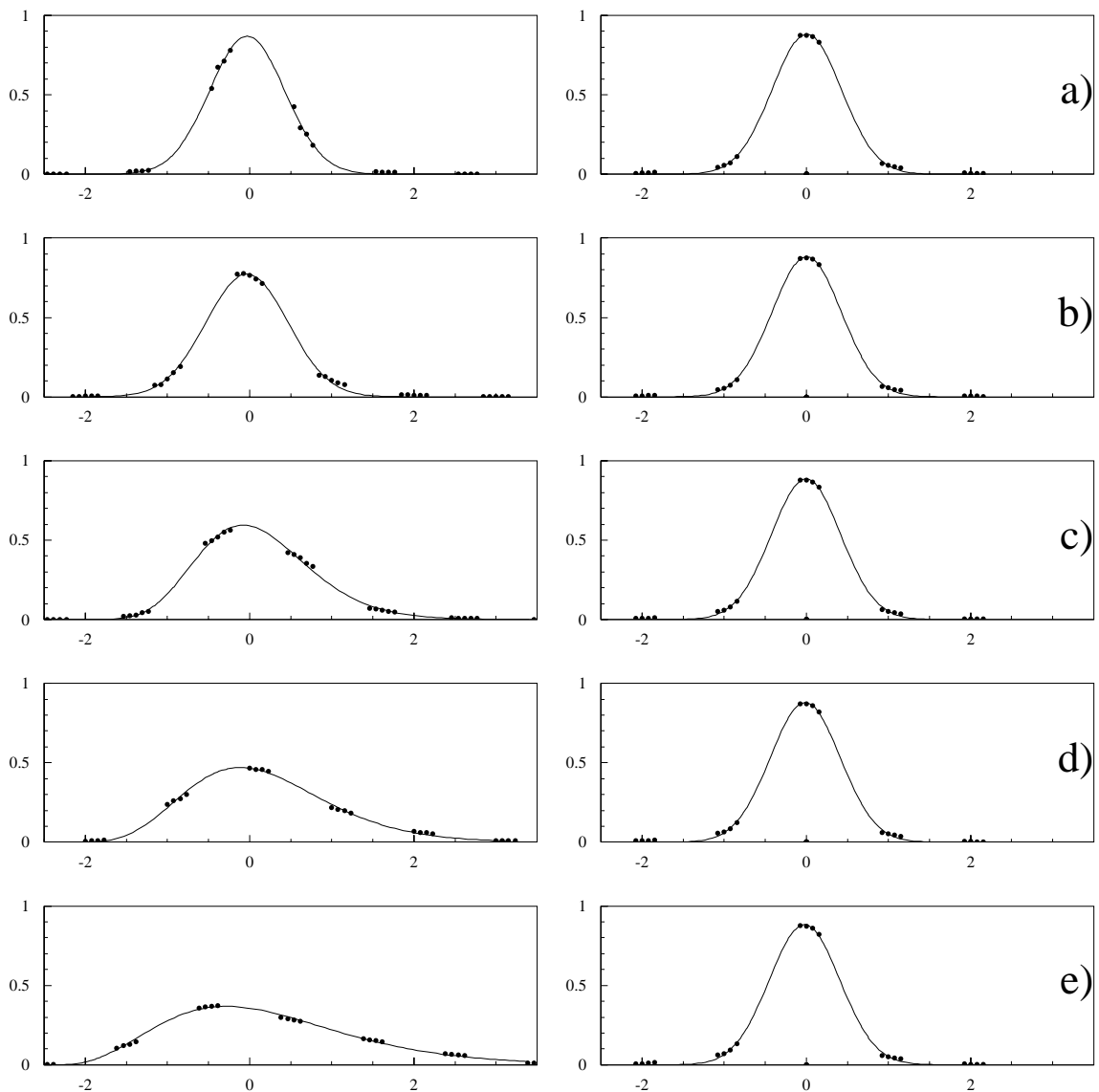


Рис. 9. Энергия столбца в зависимости от расстояния центра столбца от места попадания частицы: а) по x и y для угла 0° ; б) то же для 5° ; в) 10° ; д) 15° ; е) 20° .

Для восстановления координат при больших углах достаточно использовать данные (энергию) двух столбцов (с максимальной энергией и следующего за ним), и определять координату в зависимости от отношения величин энергий этих столбцов, так как это отношение близко к линейной зависимости.

Заключение

При попадании электрона (или γ -кванта) в электромагнитный калориметр из свинцового стекла с ячейкой 38×38 мм² под углом отклонения от нормали до 10°

энерговывделение в области 5×5 счетчиков вокруг максимума не зависит от этого угла. При углах, начиная с 10° , надо суммировать энергию в области 6×5 счетчиков. Иначе утечки энергии могут составлять около 7% от полной энергии ливня. Учет таких утечек помог правильно восстановить массу π^0 -мезона.

Форма ливня при углах до 5° хорошо описывается гауссианом. При больших углах форма становится несимметричной. При малых углах искажение восстановления координаты незначительно, и можно использовать стандартный способ восстановления координаты.

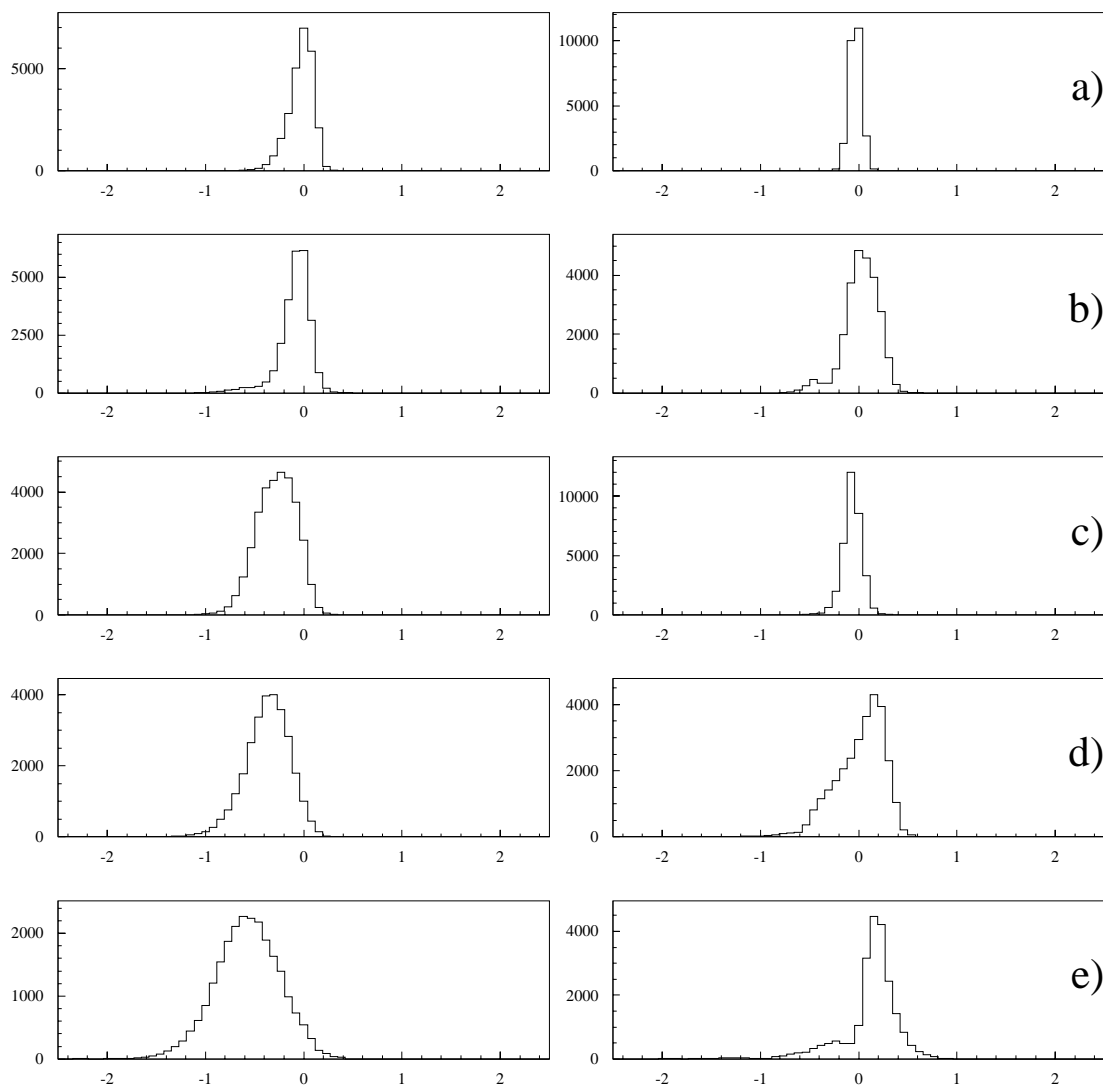


Рис. 10. Первый момент и восстановленная без специальных поправок координата: а) угол 0° ; б) 5° ; в) 10° ; г) 15° ; д) 20° .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 97-02-16010).

Список литературы

- [1] Батусов В.Ю., Русакович Н.Л. // ПТЭ, 1996, 5, с.35.
- [2] Базилевский А.В. и др. — Препринт ИФВЭ 98-17. Протвино, 1998.
- [3] Аввакумов И.А. и др. // ПТЭ, 1987, 5, с. 46.
- [4] Апокин В.Д. и др. — Препринт ИФВЭ 97-38. Протвино, 1997.

Рукопись поступила 17 ноября 1998 г.

А.Н.Васильев и др.

Экспериментальное изучение угловой зависимости электромагнитного ливня.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 18.11.98. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 1.37. Уч.-изд.л. 1.05. Тираж 150. Заказ 326. Индекс 3649

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

