

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-84-757

**ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ  
ОСИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЛИВНЯ  
С ПОМОЩЬЮ БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ  
ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ**

Направлено в журнал  
"Nuclear Instruments and Methods"

**1984**



Ю.А.Будагов, А.А.Омельяненко, А.А.Семенов, С.В.Сергеев  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Б.Ситар  
Университет им.Я.А.Коменского, Братислава, ЧССР

Й.Шпалек  
Институт экспериментальной физики САН, Кошице, ЧССР

Р.Ценов  
Софийский университет, НРБ

Для регистрации высокоэнергетических гамма-квантов, электронов и позитронов многие экспериментальные группы используют черенковские ливневые детекторы /ЛД/. Точность определения координат места попадания гамма-кванта в детектор ограничена размерами стекла. Пространственное разрешение детектора можно улучшить, уменьшив размеры его ячейки, примером чего служит широко известный детектор ГАМС <sup>/9/</sup> /ячейка  $34 \times 34$  мм<sup>2</sup>,  $\sigma_G \approx 2$  мм/. Однако стоимость такого ЛД высокая.

Существенного улучшения пространственного разрешения ЛД можно достичь и путем использования дополнительного конвертора гамма-квантов и расположенного непосредственно после него координатного детектора. В качестве координатного прибора обычно используются сцинтилляционные годоскопы <sup>/1-4/</sup>, пропорциональные <sup>/5/</sup>, искровые камеры, стримерные трубки <sup>/2,7/</sup> или дрейфовые камеры <sup>/8/</sup>. Мы использовали безэлектродную дрейфовую камеру с длиной дрейфа до 10 см.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперименты проводились на канале № 18 ускорителя ИФВЭ /Серпухов/ в пучке позитронов с энергией 3 ГэВ. Схема установки приведена на рис.1.

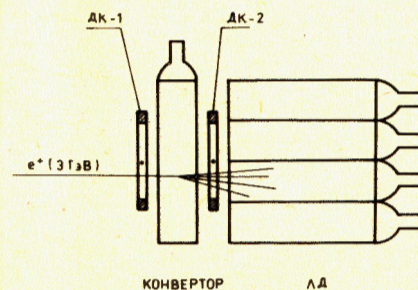


Рис.1. Схема установки.

Место попадания частиц на конвертор определяется с помощью дрейфовой камеры ДК-1. Координата оси ливня определялась с помощью дрейфовой камеры ДК-2, расположенной на расстоянии 1 см позади конвертора. Энергия ливня определялась в ливневом детекторе /ЛД/, составленном из 12 счетчиков из свинцового стекла ТФ-1-000 размером  $10 \times 10 \times 35$  см<sup>3</sup> каждый. Для анализа отбирались события, в которых измеренная энергия ливня совпадала /в пределах энергетического разрешения ЛД  $\sigma_E/E \approx 6\%$  с энергией пучка.

В качестве координатного детектора ДК-2 применена безэлектродная дрейфовая камера с размерами  $20 \times 30$  см<sup>2</sup> и толщиной 2 см; максимальная длина дрейфа 10 см. Более подробные характеристики камеры приведены ранее <sup>/10/</sup>. Камера заполняется смесью: 82% аргона, 18% изобутана.

Объединенный институт ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА



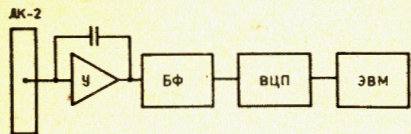


Рис.2. Блок-схема электронной аппаратуры. У - усилитель, БФ - блок формирования.

Блок-схема съема информации из ДК-2 изображена на рис.2. Сигналы из камеры поступают на зарядочувствительный усилитель<sup>/12/</sup> и затем на блок формирования, где происходит формирование сигналов и определяется положение во времени вершины сигнала. Сформированный сигнал поступает на время-цифровой преобразователь, способный обработать с точностью 1 нс до 256 сигналов в течение 16 мкс<sup>/11/</sup>, и далее на ЭВМ.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Плотность заряда электромагнитного ливня в плоскости, перпендикулярной направлению его развития, падает экспоненциально с удалением от оси ливня /см., например, <sup>/1,9/</sup>, причем характерными являются ее большие флуктуации. Поэтому вычисление центра тяжести ионизации не обеспечивает лучшего пространственного разрешения.

Для определения координаты оси ливня вместо вычисления центра тяжести мы определяли место расположения максимальной плотности заряда, соответствующее центру струи конверсионных электронов с большой энергией. Ось такой струи, в принципе, сохраняет направление влета гамма-кванта электрона в конвертор. Для нахождения места максимальной плотности заряда производится интегрирование заряда от близко расположенных треков электронов и позитронов в лавине. "Размытие" заряда происходит за счет диффузии в процессе дрейфа электронов в камере. Далее сигнал интегрируется с помощью усилителя и формирователя. В итоге, центральной струе лавины соответствует самый большой сигнал, а сигналы от одиночных электронов, летящих вдали от оси лавины, имеют небольшие амплитуды /рис.3/. Типичный сигнал, соответствующий оси ливня, имеет колоколообразную форму, и его ширина по основанию составляет  $\approx 300$  нс. Выбором оптимального порога дискриминации в блоке формирования можно отфильтровать большинство малых сигналов от одиночных электронов, сохраняя высокую эффективность регистрации ливней. Например, при регистрации лавин из конвертора толщиной 4 р.д. эффективность была 97%, причем в 48% случаев в камере был зарегистрирован только один сигнал, а  $\geq 3$  сигналов появилось только в 8% событий. Хотя из конвертора вылетает в лавине  $\approx 10-15$  электронов /позитронов/, за счет интегрирования и дискриминации в блоке формирования в большинстве случаев регистрируется только один сигнал.

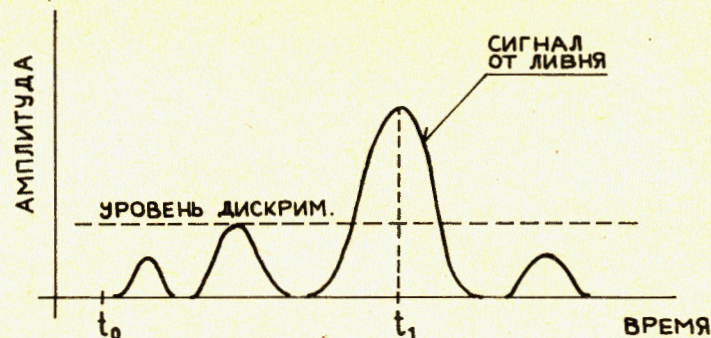


Рис.3. Типичный пример сигналов с камеры после формирования.

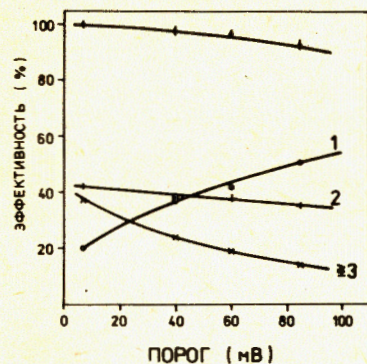


Рис.4. Эффективность регистрации ливней и средняя множественность зарегистрированных сигналов /1/, /2/, / $\geq 3$ / в зависимости от порога.

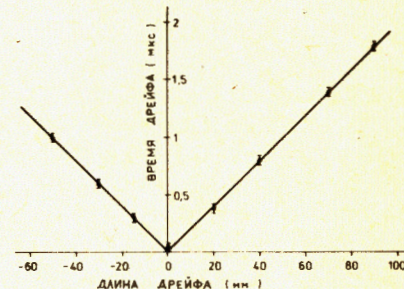


Рис.5. Зависимость "время дрейфа - координата ливня".

Эффективность регистрации ливней, а также множественность сигналов в событии зависят от использованного порога дискриминации /рис.4/. При невысоком пороге эффективность высокая  $\approx 100\%$ , но число событий с множественностью сигналов 2, 3, 4 велико. Повышая порог, мы достигаем существенного увеличения числа событий с одиночным сигналом из дрейфовой камеры, причем эффективность падает незначительно.

Время дрейфа электронов из оси ливня зависит линейно от координаты, что видно на рис.5. Скорость дрейфа в ДК-2, определенная из этих измерений, составляет 4,9 см/мкс при  $\approx 550$  В/см и в интервале напряженности поля 400-600 В/см не зависит от напряжения.



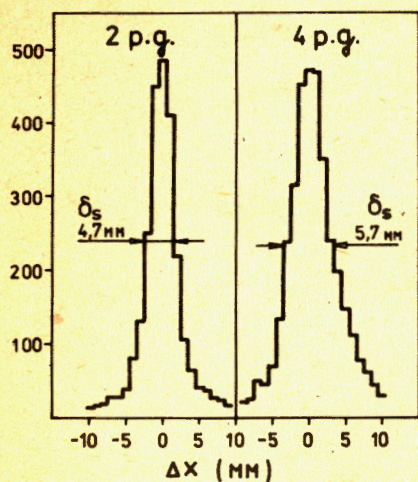
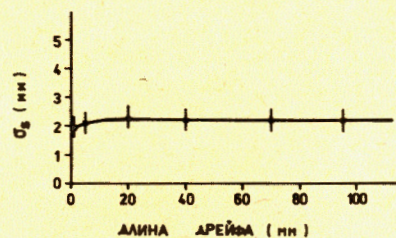


Рис.6. Распределения величины  $\Delta x$  для толщины конвертора 2 и 4 радиационных длин /р.д./.

Рис.7. Зависимость пространственного разрешения для ливней от длины дрейфа.



Информация с дрейфовой камеры ДК-2 обрабатывается с учетом числа сигналов в событии. В событиях, где от лавины есть один сигнал, этот сигнал используется для определения координаты оси ливня. В событиях с более чем двумя сигналами выбирается сигнал с координатой, ближайшей к измеренной в ЛД координате оси ливня. Координата в ЛД определялась по центру тяжести распределения энергии ливня в модулях ЛД со среднеквадратичной ошибкой  $\sigma_G \approx 12$  мм. Информация из ЛД используется также для устранения право-левой неоднозначности в дрейфовой камере, поэтому расстояние анод-катод в ДК-2 /2x10 см/ совпадает с размером модуля ЛД.

Координатное разрешение дрейфовой камеры при измерении ливней определяется из распределения величин  $\Delta x = x_1 - x_2$ , где  $x_1$  - координата места попадания высокоэнергетического позитрона на конвертор, определенная с помощью ДК-1;  $x_2$  - координата оси ливня, определенная в ДК-2. Полученные распределения величин  $\Delta x$  приведены на рис.6. Ширина распределения на половине высоты  $\delta_s$  составляет 4,7 и 5,7 мм для толщин конверторов  $h = 2$  и 4 р.д., соответственно.

Измерения проводились в широком пучке позитронов, который засвечивал практически всю площадь камеры. Зависимость пространственного разрешения  $\sigma_s = \delta_s / 2,38$  от длины дрейфа  $L_d$  показана на рис.7. Видно, что  $\sigma_s$  с увеличением  $L_d$  практически не меняется. С учетом расходимости пучка /0,7 мрад/ при  $h = 4$  р.д. разрешение составляет  $\sigma_s = 1,95$  мм.

Зависимость характеристик ДК-2 от интенсивности потока частиц /ливней/ приведена на рис.8 при длине сброса 1,8 с и цикле ускорителя 8 с. Заниженная эффективность  $\approx 80\%$ , легко управляемая с помощью уровня дискриминации, использовалась потому,

что при этом сильнее проявляется влияние загрузки, чем при эффективности, близкой к стопроцентной. При загрузке  $10^5$  част./сброс через ДК-2 проходит  $\approx 2 \cdot 10^4$  ливней /ливень в среднем содержит около 15 частиц/, и эффективность при этом практически не меняется.

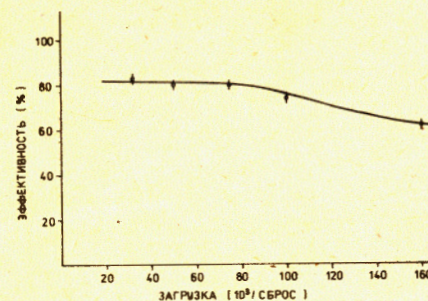


Рис.8. Эффективность ДК-2 в зависимости от интенсивности потока частиц.

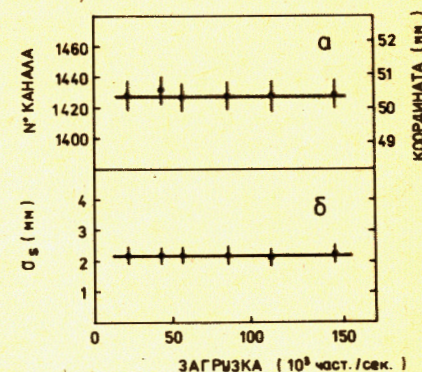
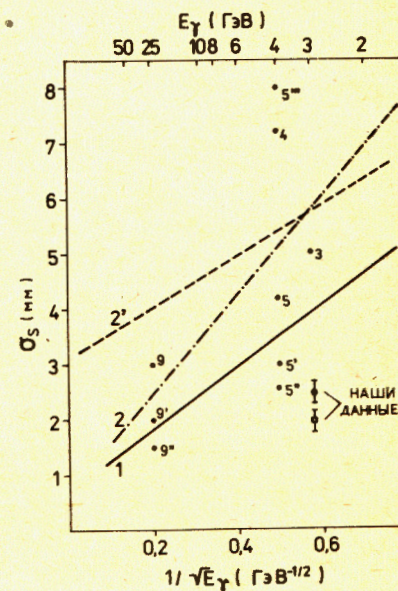


Рис.9. Зависимость а - измеряемой координаты, б - пространственного разрешения для ливней от загрузки.

Рис.10. Пространственное разрешение ЛД с конвертором и координатным детектором в зависимости от энергии  $E_\gamma$ : 1 - Сох /сцинтиляционный годоскоп /с.г./ - 1 см; 2 - Rameika /2 - с.г. - 0,5 см; 2' - СГС-трубки; 3 - Powell /с.г. - 1,5 см; 4 - Brau /с.г. - 2,5 см; 5 - Gabathuler /ПК, 5''' - цифровая информация, 5 - определение ц.т., 5' - фит по данным из анода, 5'' - фит по данным катода; 9 - Акорджипов /ЛД; 9 - ц.т.; 9' - экспоненциальная функция, 9'' - фит подобранной функцией; о - наши данные; □ - наши данные после учета угловой расходимости пучка/.





Изучались также возможные искажения в определении координаты ливня за счет накопления пространственного заряда в камере при большой загрузке. Как следует из рис.9а, искажение не наблюдается. Пространственное разрешение от загрузки не зависит /рис.9б/.

На рис.10 приведено сравнение лучших результатов координатного разрешения для электромагнитных ливней  $\sigma_s$ , полученных на разных установках и разными методами. При этом сравниваются только приборы с одним конвертором и одним координатным детектором, а не многослойные калориметры. Простейший метод получения координаты оси ливня - это вычисление центра тяжести /ц.т./ ионизационного заряда. Но этот метод не дает лучших результатов. Группы ЦЕРНа<sup>15/</sup> и Серпухова<sup>19/</sup> применили, кроме вычисления ц.т. /точки 5 и 9 на рис.10/, также вычисление координаты с учетом экспоненциального спада заряда поперек ливня, что дает улучшение разрешения /точка 9"/. Фитирование с помощью расчетной функции еще более уменьшает  $\sigma_s$  /точки 5', 5'' и 9'''/. Для сравнения приведено также разрешение, полученное только с помощью цифровой информации /без применения АЦП/ с пропорциональной камеры /ПК/ /точка 5''''/.

Во ФНАЛе<sup>1,2/</sup> измерена зависимость разрешения от энергии падающего электрона /гамма-кванта/  $E_\gamma$  с помощью сцинтилляционных годоскопов и СГС-трубок. На рис.10 приведены не экспериментальные точки /1,2/, а зависимости  $\sigma_s(E_\gamma)$ .

Дискретность элементов, измеряющих распределение заряда в перпендикулярной к оси ливня плоскости, до их определенного размера не играет большой роли: так, например, с помощью сцинтилляционных годоскопов /1,2,3 на рис.10/, с шириной сцинтилляторов 1; 0,5 и 1,5 см соответственно, достигается приблизительно одинаковое разрешение, в то время как в годоскопе с шириной элементов 2,5 см уже наблюдается ухудшение разрешения /точка 4 на рис.10/. В ЦЕРНе<sup>15/</sup> наблюдали улучшение разрешения при переходе от съема информации с анодов пропорциональной камеры /шаг 4 мм/ /точка 5'/ к съему наведенного заряда из катодов ПК /5''/.

Предложенным нами простым методом прямого определения максимума плотности заряда получается высокое пространственное разрешение  $\sigma_s = 1,95$  мм при  $E_\gamma = 3$  ГэВ. Кроме того, в случаях, когда есть один сигнал в ДК-2, информацию о координате ливня, полученной после события в течение  $\approx 2,5$  мкс, можно включить в триггер второй степени.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Безэлектродная дрейфовая камера оказывается надежным прибором для измерения координаты оси электромагнитного ливня.

2. Использованный метод определения места максимальной плотности заряда, без применения дорогостоящего быстрого АЦП, обеспечивает хорошее пространственное разрешение.

3. Высокая эффективность регистрации ливней, линейность соотношения "время дрейфа - координата" и пространственное разрешение сохраняются вплоть до загрузок  $2 \cdot 10^4$  ливней/с на проволочку.

Авторы благодарят В.Б.Флягина и В.М.Кутьина, поддержка которых сделала возможным выполнение данной работы. Мы признательны Ю.В.Заневскому и А.Б.Иванову, предоставившим нам часть электронной аппаратуры. В подготовке и проведении исследований на пучке нам оказали неоценимую помощь А.М.Артыков, Г.С.Бицадзе, А.М.Блик, В.Глинка, В.М.Королев, Ю.Ф.Ломакин, И.А.Минашвили, М.Н.Омельяненко и А.С.Соловьев, которым мы выражаем глубокую благодарность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cox B. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1984, 219, p.491.
2. Rameika R. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1984, NS-31, p.60.
3. Powell B. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1982, 198, p.217.
4. Brau J.E. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1982, 196, p.403.
5. Gabathuler E. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 157, p.47.
6. Heusch C.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 120, p.237.
7. Atac M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1983, 205, p.113.
8. Albrecht E. et al. Proc.Int.Conf. on Instrumentation for Colliding Beam Physics. SLAC, 1982, p.34.
9. Akopdjanov G.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 140, p.441.
10. Budagov Yu.A. et al. (Submitted to NIM, Registration 5-236).
11. Budagov Yu.A. et al. (Submitted to NIM, Registration 5-235).
12. Омельяненко А.А., Омельяненко М.Н. ОИЯИ, 13-82-56, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 ноября 1984 года.



СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. *Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, P2-84-649, Дубна, 1984.*

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

*Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, D13-84-53, Дубна, 1984, с.26.*

*Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.*

Будагов Ю.А. и др.

13-84-757

Измерение координат оси электромагнитного ливня с помощью безэлектродной дрейфовой камеры

Достигнуто существенное улучшение пространственного разрешения в черенковском ливневом детекторе путем применения дополнительного конвертора и безэлектродной дрейфовой камеры в качестве координатного детектора. Координата оси электромагнитного ливня определялась без применения АЦП, а только с помощью ВЦП с малым мертвым временем. При энергии 3 ГэВ получено разрешение 1,95 мм. Проверялась эффективность работы безэлектродной камеры при повышенной нагрузке.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Budagov Yu.A. et al.

13-84-757

Measurement of Electromagnetic Shower Position with an Electrodeless Drift Chamber

Spatial resolution of a lead-glass shower detector was considerably improved by means of a converter and an electrodeless drift chamber as a coordinate detector. Coordinate of an electromagnetic shower was measured without a flash ADC, only a multi-hit TDC was used. Spatial resolution 1.95 mm (r.m.s.) at an energy 3 GeV was achieved. An efficiency in relatively high shower count rate was checked.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984