



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000-43

ОЭФ

**А.М.Блик, М.Ю.Боголюбский, С.В.Ерин, М.О.Лобанов, Н.Г.Минаев,  
С.А.Садовский, В.Д.Самойленко, В.И.Суздаев, В.В.Тихонов,  
Ю.В.Харлов**

*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия*

**А.Д.Мауро, П.Мартиненго, Ф.Пиуз, Дж. Ван Билен, Д.Вильямс**  
*ЦЕРН, Женева, Швейцария*

**М.С.Ипполитов, Ю.Г.Сибиряк, М.А.Волков**  
*Российский научный центр "Курчатовский Институт", Москва, Россия*

**А.Кловнинг, О.А.Маеланд, О.Х.Одланд, Р.Ронгвед**  
*Отделение физики университета г. Берген, Норвегия*

**Б.Скаали**  
*Отделение физики университета г. Осло, Норвегия*

**ДЕТЕКТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
НА ОСНОВЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ТРУБОК  
С КАТОДНО-ПАДОВЫМ СЪЕМОМ ДАННЫХ**

Протвино 2000

### Аннотация

Блик А.М., Боголюбский М.Ю., Ерин С.В. и др. Детектор заряженных частиц на основе пропорциональных трубок с катодно-падовым съемом данных: Препринт ИФВЭ 2000–43. – Протвино, 2000. – 12 с., 12 рис., библиогр.: 15.

Представлен детектор заряженных частиц на основе пропорциональных трубок с катодно-падовым съемом информации совместно с результатами тестов в пучках частиц высоких энергий. Пространственное разрешение детектора составило 1,25 мм вдоль анодной проволоки при размерах пада  $2,2 \times 2,2 \text{ см}^2$  и расстоянии катод-анод 1,1 см. Предложена симуляционная модель детектора, использующая измеренную функцию отклика пада, проведено ее сравнение с экспериментальными данными и показано применение для вычисления двухтрекового разрешения. Полученные результаты показывают, что данный прибор может использоваться в качестве двухкоординатного многочастичного детектора большой площади в широком классе экспериментов.

### Abstract

Blik A.M., Bogolubskiy M.Yu., Erin S.V. et al. Charged Particle Detector on the Basis of Proportional Tubes with Cathode-Pad Readout: IHEP Preprint 2000–43. – Protvino, 2000. – p. 12, figs. 12, refs.: 15.

Charged particle detector on the basis of proportional tubes with cathode-pad readout as well as beam test results are presented. Spatial resolution 1.25 mm along the anode wires has been obtained for the pad dimensiones of  $2.2 \times 2.2 \text{ cm}^2$  and the anode to cathode distance of 1.1 cm. The simulation model of the detector using the measured pad response function is proposed and compaired with the experimental data. It is also applied to calculate a two-track resolution. The obtained results admit the use of the detector as a large area multi-particle two-coordinate detector in a wide class of experiments.

## Введение

Трековые газовые детекторы на основе пропорциональных счетчиков, выполненных из алюминиевых или пластиковых профилей, широко используются в экспериментах по физике высоких энергий (см. работы [1, 2]) из-за их относительно низкой стоимости, малости вносимого вещества на пути проходящих частиц, возможности перекрытия больших площадей при высоком двухкоординатном пространственном разрешении, которое можно достичь с помощью съема сигнала с катода при его разбиении на стрипы или пады. В последнем случае при разбиении на пады дополнительно получается также и высокое двухтрековое разрешение, что важно для регистрации событий большой множественности, характерных для современных экспериментов.

В настоящей статье представлен детектор заряженных частиц (ДЗЧ) с катодно-падовым съемом информации, изготовленный на основе пропорциональных счетчиков. Цель работы состояла в получении эффективности регистрации заряженных частиц близкой к 100% при высоком пространственном разрешении и сравнительно малом числе каналов электроники. Для этого выбрана конструкция детектора в виде планарной структуры из пропорциональных ромбических счетчиков с катодными падами большого размера. Каждый паd представляет собой квадрат, длина стороны которого выбрана на основе компромисса между стоимостью детектора, пропорциональной количеству каналов электроники, и ожидаемой координатной точностью.

Как известно, на координатную точность газового детектора влияют следующие факторы: механические неточности изготовления детектора, многократное рассеяние, статистика ионизационных потерь заряженных частиц в газе, образование дельта-электронов, флуктуации газового усиления, а также шумы электроники и “pick-up” шум. Выбор детектирующего элемента на основе пропорционального счетчика позволяет снизить требования на механические допуски при изготовлении детектора, а также уменьшить вклад дельта-электронов в точность восстановления координаты частицы.

Исследования детектора проводились на ускорителе PS CERN. Полученные результаты позволили сформулировать симуляционную модель детектора и настроить ее параметры.

Работа организована следующим образом: в первой части описывается конструкция детектора, во второй части приводятся результаты тестов на пучке ускорителя, третья

часть содержит применение предложенной симуляционной модели детектора для определения двухтрекового разрешения прибора, в заключении сформулированы основные выводы работы.

## 1. Конструкция детектора

Детектор представляет собой планарную структуру размером  $18 \times 18 \text{ см}^2$  из 8 пропорциональных счетчиков. В поперечном сечении каждый счетчик имеет ромбическую форму, почти квадратную, с размерами  $2,2 \times 2,2 \text{ см}^2$  (рис.1). Три стороны всех счетчиков сформированы из одной алюминиевой фольги толщиной  $0,15 \text{ мм}$ , в то время как четвертая сторона образована одной из двух катодных плоскостей, выполненных в виде двухсторонних печатных плат с толщинами текстолита и медного покрытия  $1 \text{ мм}$  и  $50 \text{ мкм}$  соответственно. Внутренняя поверхность плат разбита в процессе фотолитографии на квадратные пады с размерами  $2,2 \times 2,2 \text{ см}^2$ , с которых считывается информация. Пады одной катодной плоскости сдвинуты относительно падов противоположной катодной плоскости на один ряд. Внешнее медное покрытие катодных плоскостей играет роль электромагнитного экрана. Усилители снимаемых с падов сигналов располагаются непосредственно на внешних стенках детектора.

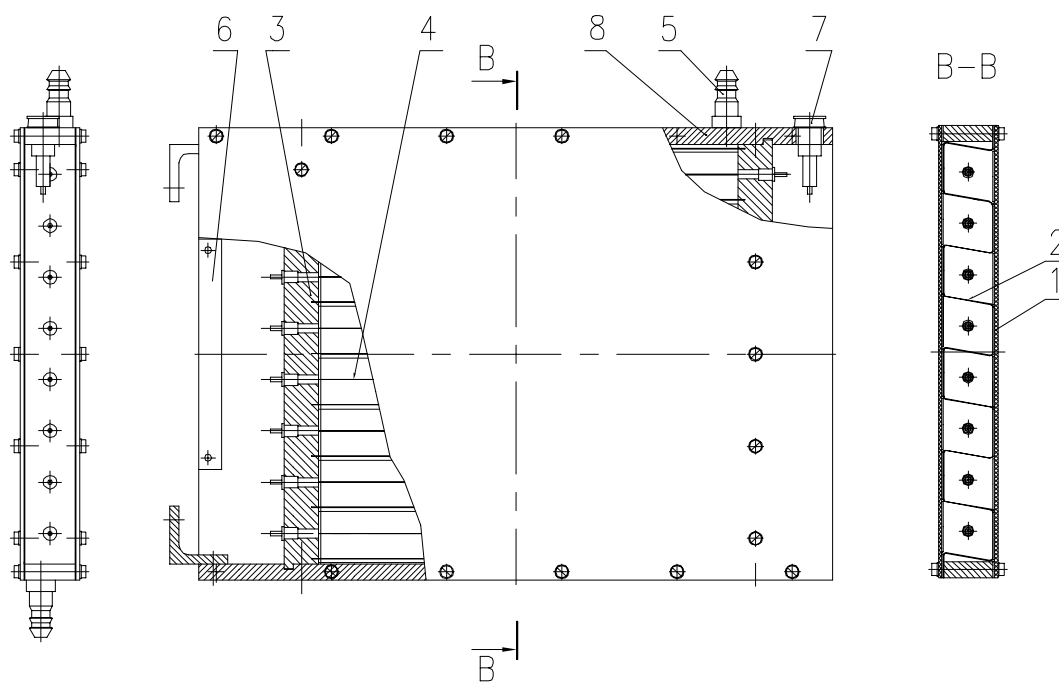


Рис. 1. Конструкция детектора заряженных частиц. Обозначения: 1 – катодная плоскость; 2 – гнутый профиль из алюминиевой фольги; 3 – рамка крепления анодных проволок; 4 – анодные проволоки; 5 – газовый ввод; 6 – сигнальный разъем; 7 – высоковольтный разъем; 8 – внешние стенки детектора.

Ромбическая форма счетчиков служит для улучшения координатного разрешения детектора поперек анодных проволочек и снижения зоны неэффективности вблизи стенок счетчика. Для анодных проволочек использовалась вольфрам-рениевая золоченая прово-

лока диаметром 50 мкм. Расстояние между анодными проволоками 2,2 см, зазор катод – анод 1,1 см. Использовалась газовая смесь 80%  $Ar$  + 20%  $CO_2$  при давлении на 2 мбар выше атмосферного. Отметим, что из-за отсутствия атомов водорода в выбранной смеси ДЗЧ обладает низкой чувствительностью к регистрации нейтронных потоков.

## 2. Тесты на пучке

Изучение характеристик детектора проводилось на ускорителе PS (CERN) на канале T10 в диапазоне импульсов пучковых частиц 1–6 ГэВ/с. Экспериментальное оборудование включало: систему сцинтилляционных и черенковских счетчиков (для выделения пучковых частиц и выработки триггерного сигнала), 10 плоскостей микростриповых кремниевых детекторов (МКД) для определения координат пучковых частиц. Расстояние между стрипами МКД составляло 50 мкм, а чувствительная площадь —  $2 \times 2 \text{ см}^2$ .

Исследуемый детектор помещался между плоскостями МКД, причем анодные проволоки были ориентированы горизонтально — вдоль оси X, ось Y направлена вертикально — перпендикулярно анодным проволокам.

Регистрирующая электроника и система сбора данных были унифицированы как для исследуемого детектора, так и для МКД. Электроника считывания была выполнена на основе 16-канальных интегральных усилителей GASSIPLEX [5] с мультиплексированием. Каждый канал состоит из зарядо-чувствительного предусилителя, фильтра и формирующего усилителя. Эквивалентный шумовой заряд используемых предусилителей GASSIPLEX-0.7-1 равен  $630 e^-$  при нулевой входной емкости и постоянной времени формирования 900 нс, разброс значений коэффициента усиления не более 2–3 %.

После усиления сигналов с детекторов производилась их оцифровка в одном и том же для всех каналов 10-битном АЦП (электронный модуль V550 CAEN C-RAMS [6]), установленным в экспериментальном домике, после чего данные записывались в цифровом виде на жесткий диск компьютера. Система сбора данных была построена на основе электронного модуля V551B CAEN C-RAMS Sequencer [7], поддерживающего управление мультиплексированной передачи данных от GASSIPLEX к АЦП.

## 3. Кластеры, амплитудные спектры и эффективность

Анализ экспериментальных данных показал, что сигналы, наведенные на падах заряженными частицами, падающими перпендикулярно детектору, сгруппированы в кластеры вдоль анодных проволочек. Размер кластера  $N$  (количество сработавших падов) изменяется в основном от единицы до трех с незначительным вкладом более длинных кластеров (рис.2а). Доля кластеров  $\epsilon_{X1}$ ,  $\epsilon_{X2}$  и  $\epsilon_{X3}$  с определенным размером  $N = 1, 2, 3$  существенно зависит от приложенного к детектору высокого напряжения, что показано на рис.2б. Из этого рисунка видно, что доля 1-падовых кластеров (т.е. с длиной  $N = 1$ ) падает с ростом высокого напряжения, в то время как вклад  $\epsilon_{X23} = \epsilon_{X2} + \epsilon_{X3}$  кластеров с размером  $N > 1$  растет. Величина  $\epsilon_{X23}$  слабо зависит от приложенного высокого напряжения в диапазоне 2000–2200 В. Точка 2050 В была выбрана как оптимальная для работы детектора. Вклад 1-падовых кластеров при таком напряжении составил менее 4%.

Амплитудный спектр сигналов, снятых со сработавших падов при напряжении 2050 В, представлен на рис. 3, где показаны одновременно данные для пада с максимальной амплитудой в кластере, а также для соседних с ним падов в том же кластере.

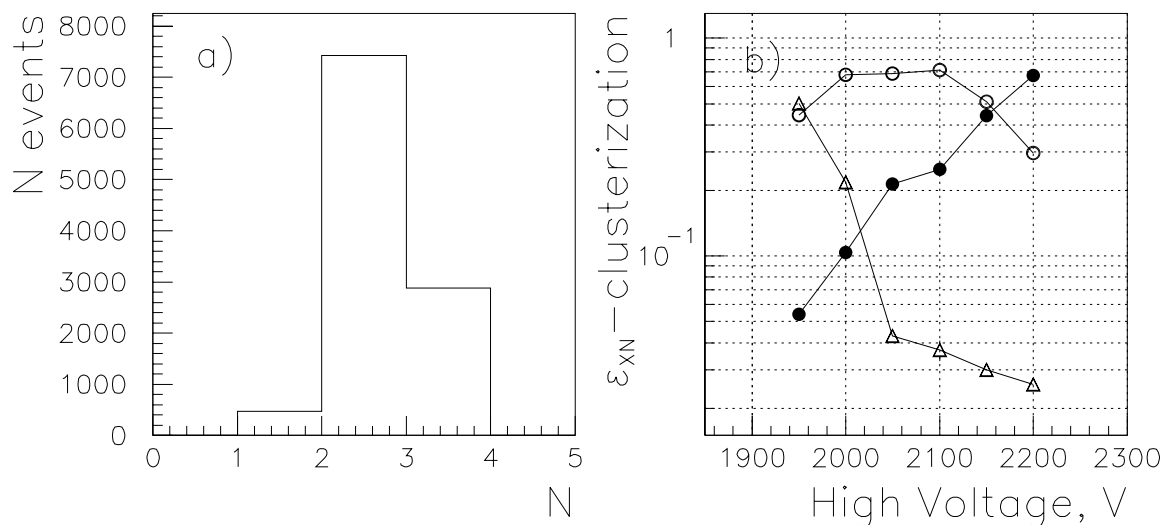


Рис. 2. Распределение по длине кластера  $N$  (количество сработавших падов) вдоль проволочек при приложенном напряжении 2050 В (а), и зависимость относительной доли кластеров  $\epsilon_{X1}$ ,  $\epsilon_{X2}$  и  $\epsilon_{X3}$  с данным  $N = 1, 2, 3$  от высокого напряжения (б); здесь треугольники, черные точки и белые точки соответствуют данным при  $N = 1, 2, 3$ .

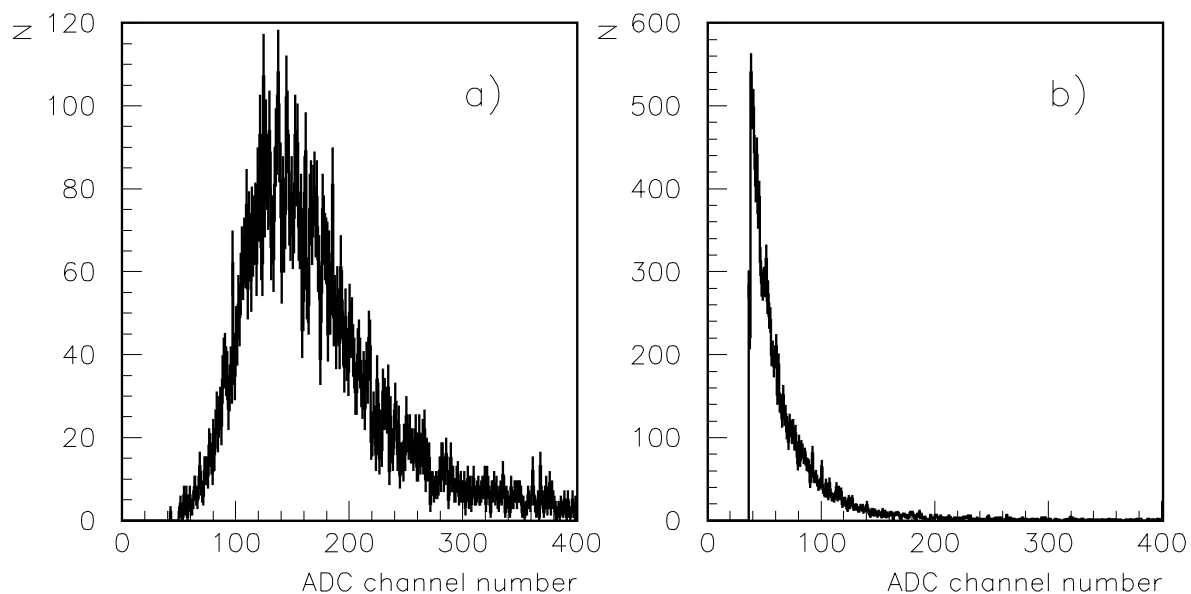


Рис. 3. Амплитудный спектр сигналов с катодных падов ДЗЧ: а) для главного пада с максимальной амплитудой в кластере; б) для соседних падов в том же кластере. Высокое напряжение — 2050 В.

На рис. 4 даны для сравнения аналогичные распределения, полученные в симуляционной модели детектора. Мы использовали в модели розыгрыш флуктуаций ионизационных потерь (см. рис. 5) на основе уравнения Ландау [8] с модификациями Вавилова [9], дополнительным учетом энергии связи электронов в атоме [10] и статистических флук-

туаций коэффициента газового усиления. Затем вычисление сигналов с каждого пада производилось в соответствии с фитированной параметризацией (6), экспериментально определенной зарядовой кумулятивной функцией (см. ниже), причем был также принят во внимание и шум электроники. Для выяснения влияния обрезания малых амплитуд, установленного в реальном эксперименте, мы не вводили при симуляции порог на регистрацию сигналов. Как можно видеть, этот порог действует практически только для боковых падов кластера.

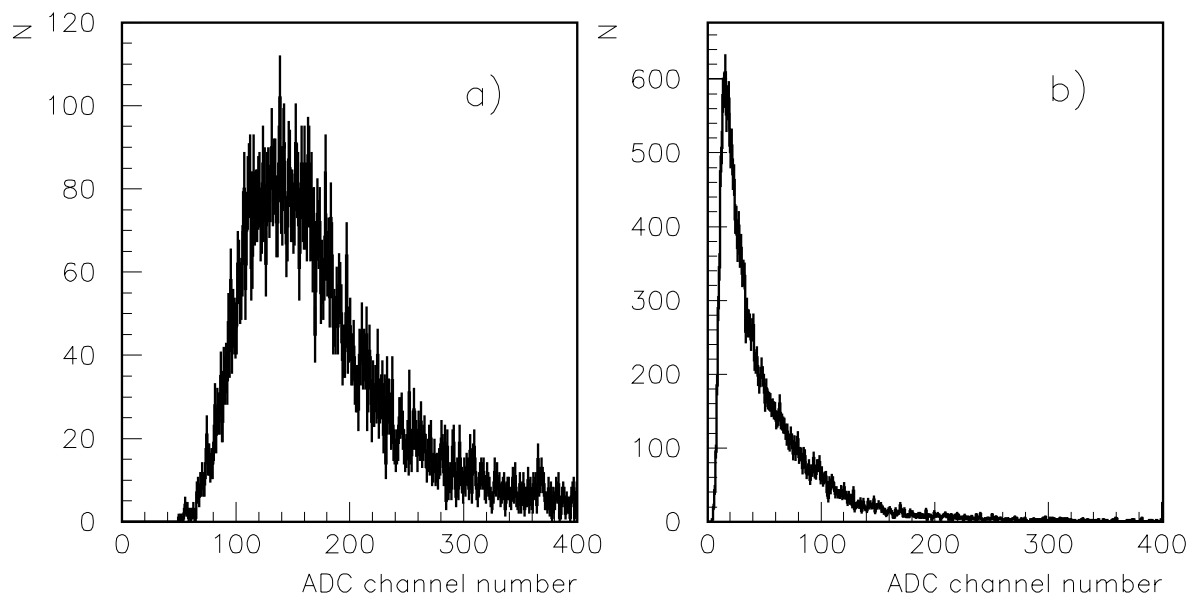
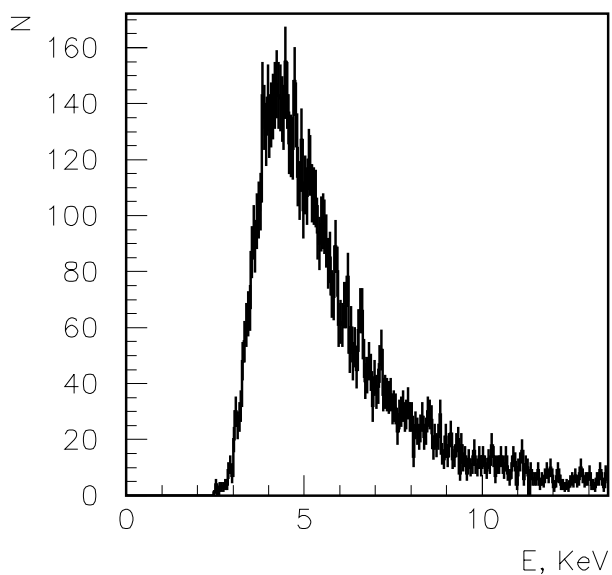


Рис. 4. Те же распределения, что на рис.3, но вычисленные в симуляционной модели детектора (см. текст).

Рис. 5. Вычисленное в симуляционной модели распределение энергетических потерь заряженной релятивистской частицы в газовом объеме детектора.



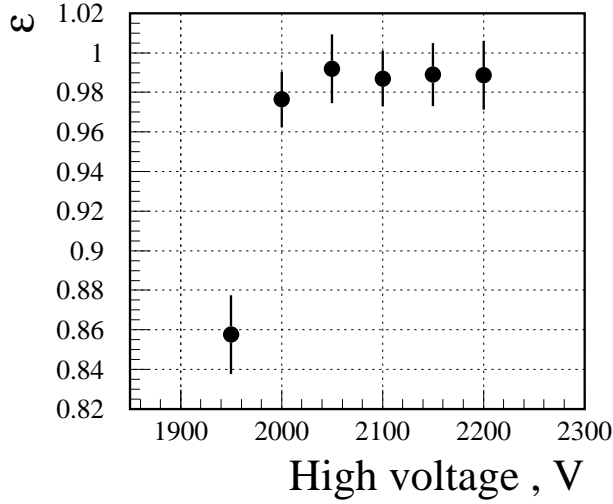


Рис. 6. Эффективность регистрации заряженных частиц в ДЗЧ как функция приложенного к детектору напряжения.

во внимание, что заряд, наведенный на поверхности пада, и амплитуда регистрируемого с него сигнала  $A_n$  пропорциональны (здесь  $n$  — индекс, нумерующий пады в пределах кластера), величина  $A_n$  может быть выражена в терминах функции отклика пада (ФОП)  $P(x)$ . По определению эта функция дает часть от общего наведенного на катодной плоскости заряда  $Q_0$ , которая собрана на паде в зависимости от координаты прошедшей частицы  $x_0$

$$A_n = \kappa Q_0 P(x_n - x_0) , \quad (1)$$

где  $\kappa$  — коэффициент пересчета заряда в амплитуду сигнала;  $x_n$  — координата центра пада. Функция отклика пада, в свою очередь, может быть выражена через одномерную кумулятивную функцию (КФ)  $F(x)$ :

$$P(x) = F(x + a/2) - F(x - a/2) , \quad (2)$$

где  $a$  — размер стороны пада и  $F(x)$  определяется следующим выражением:

$$F(x) = \frac{1}{Q_0} \cdot \int_{-\infty}^x \sigma(\zeta) d\zeta , \quad (3)$$

причем кумулятивная функция удовлетворяет естественному нормирующему условию  $F(+\infty) = 1$ . Так как при пучковых тестах координата  $x$  измеряется высокоточными МКД детекторами, уравнения (1) и (2) могут быть использованы для определения ОФП и КФ функций из экспериментальных данных.

В дальнейшем вместе с координатой  $x$  мы будем также использовать безразмерную координату  $x'$ , определяемую как частное:

$$x \rightarrow x' = x/D , \quad (4)$$

где  $D$  — расстояние катод-анод. Иногда для простоты обозначений мы будем опускать в формулах штрих, но каждый такой случай специально оговаривается в тексте.

Важной характеристикой детектора является эффективность регистрации заряженных частиц  $\varepsilon$ . Мы измерили эффективность данного ДЗЧ, используя МКД детекторы. Результаты представлены на рис. 6 как функция приложенного к детектору напряжения. В выбранной рабочей точке по высокому напряжению при 2050 В эффективность составила  $\varepsilon \simeq 0,99$ .

### 3.1. Зарядовая кумулятивная функция

Так как продольные размеры (вдоль проволочек) пропорциональных трубок детектора значительно превышают их поперечные размеры, то мы можем использовать одномерное приближение для функции плотности заряда  $\sigma$  на паде. Принимая



Существует ряд параметризаций, описывающих плотность заряда, наведенного на паде [5,9,11]. Мы выберем для анализа наших данных формулу из работы [11], подразумевая под  $x$  введенную выше безразмерную координату (4):

$$\sigma(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\beta}{x^2 + \beta^2}, \quad (5)$$

где  $\beta$  — параметр. Соответствующая (5) кумулятивная функция имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{x}{\beta}\right) + \frac{1}{2}. \quad (6)$$

Кумулятивная функция заряда, полученная на основе экспериментальных данных, представлена на рис.7а. Кривая показывает фитированную методом наименьших квадратов параметризацию (6):  $\beta = 0,915 \pm 0,005$ ;  $\chi^2/N_{DoF} = 20/36$ . Здесь же на рис.7b дана полученная функция плотности распределения заряда (5), соответствующая этому фиту.

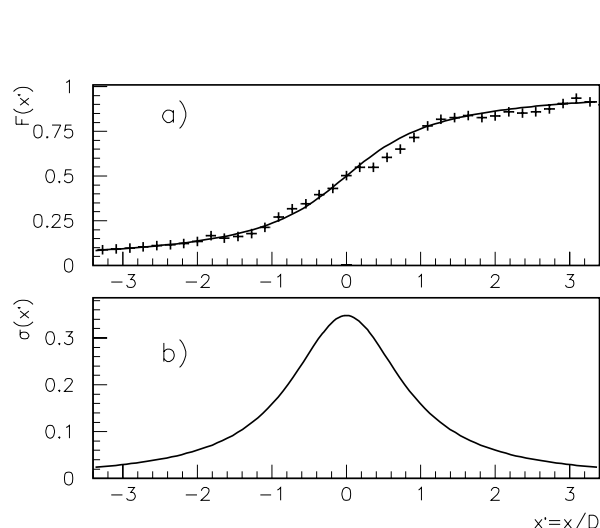


Рис. 7. Зарядовая кумулятивная функция (эксперимент) в зависимости от координаты  $x$  вместе с аппроксимацией (6), показанной сплошной кривой, – (а); и полученная функция плотности распределения заряда (5), соответствующая этому фиту – (b). Высокое напряжение — 2050 В.

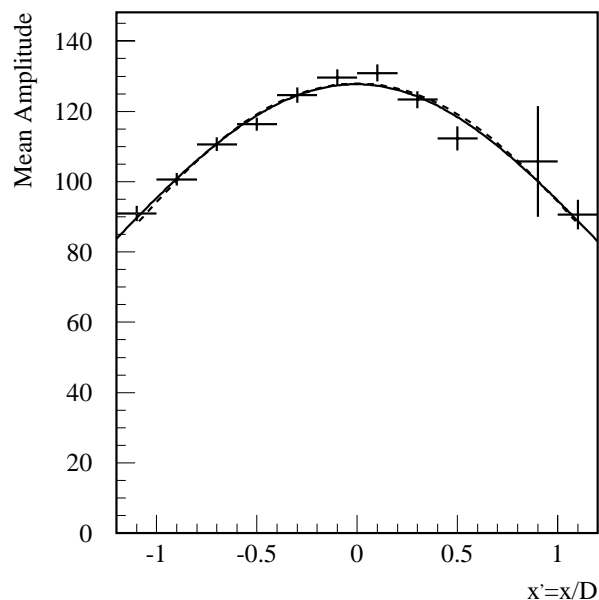


Рис. 8. Зависимость средней амплитуды сигнала для главного пада в кластере от безразмерной координаты (отсчитываемой от центра главного пада) вместе с описанием (пунктир) с помощью ФОП-функции (см. текст). Сплошная кривая представляет фит экспериментальных данных функцией Гаусса. Высокое напряжение — 2050 В.

ФОП-функция, вычисленная по формуле (2) через фитированную аппроксимацию (6) для КФ, хорошо описывает амплитуды сигналов с падов. Например, на рис.8 представлена экспериментально полученная зависимость средней амплитуды сигнала для главного пада в кластере ( $x_n = 0$ ) от безразмерной координаты (отсчитываемой от центра главного пада) вместе с описанием с помощью так определенной ФОП-функции (пунктирная

кривая). Следует отметить, что достаточно хорошее описание средней амплитуды в области главного пада дает также гауссиан как функция безразмерной координаты (4), что продемонстрировано сплошной кривой. Фитированное значение параметра ширины гауссиана равняется  $\sigma \simeq 1,15$ . Однако вне главного пада степень соответствия функции Гаусса экспериментальным данным ухудшается.

### 3.2. Координатное разрешение детектора

Методы реконструкции координаты для детекторов с катодным считыванием подробно обсуждаются в работе [15]. Поэтому в данной статье указаны только основные черты используемых процедур.

Координаты прошедших через детектор частиц находились по наведенным на пады зарядам с помощью специальной процедуры. В частности, координата  $y$  (поперек проволочек) определялась по номеру сработавшей трубки. Соответствующее координатное разрешение теоретически оценивается как  $\sigma_y = a/\sqrt{12} \approx 0,64$  см, что и было подтверждено непосредственными измерениями.

В направлении  $x$  (вдоль проволочек) было получено существенно лучшее координатное разрешение за счет использования процедуры взвешивания амплитуд сигналов в кластере. Для трехпадового кластера мы следовали работам [11,13], где эта проблема была детально исследована. В предположении о гауссоподобной форме ФОП-функции работает следующая формула:

$$x = a \cdot \left[ \frac{\alpha_3}{2} \cdot \frac{\ln(A_1/A_{-1})}{\ln(A_0^2) - \ln(A_1 \cdot A_{-1})} + \beta_3 \right], \quad (7)$$

где  $x$  — координата, отсчитываемая относительно центра главного пада кластера;  $a$  — размер стороны пада;  $n = 0, \pm 1$  — индекс, соответствующий главному паду в кластере и двум другим соседним;  $A_n$  — амплитуды сигналов с падов в кластере;  $\alpha_3$  и  $\beta_3$  — параметры, учитывающие отклонение формы ФОП от гауссовой. Значение  $\alpha_3$  близко к единице, а  $\beta_3$  — к нулю.

Для двухпадовых кластеров использовалась эмпирическая формула из работы [13]:

$$x = na \cdot \left[ \alpha_2 \frac{\ln(A_n/A_0)}{\ln(A_n \cdot A_0)} + \beta_2 \right], \quad (8)$$

где  $x$  — точка прохождения заряженной частицы через детектор, причем начало координат находится посередине между двумя сработавшими падами, образующими кластер. Индексы  $n = 0$  и  $n = \pm 1$  относятся к главному и одному из смежных падов в кластере.  $\alpha_2$  и  $\beta_2$  — параметры. Значение  $\alpha_2$  зависит в основном от конструкции детектора,  $\beta_2$  близка к нулю.

Эксперимент показал, что все параметры  $\alpha_2, \alpha_3, \beta_2, \beta_3$  ведут себя как константы в интервале высокого напряжения 1950–2150 В, но при наибольшем приложенном напряжении 2200 В они требуют некоторого переопределения.

Результирующее пространственное разрешение детектора определяется главным образом двух- и трехпадовыми кластерами ввиду малого вклада однопадовых кластеров (менее 4%). Для последних оценка координаты, очевидно, совпадает с положением центра сработавшего пада. Анализ экспериментальных данных показал, что вклады двух- и трехпадовых кластеров в погрешность определения  $x$ -координаты примерно одинаковы.

На рис.9а представлен двойной график истинной координаты  $x$  (измеренной с помощью телескопа из микростриповых детекторов) в зависимости от той же координаты, восстановленной по данным исследуемого ДЗЧ. На рис. 9б показано распределение разности  $\delta_x$  между истинной и восстановленной по данным ДЗЧ координатой при напряжении 2050 В. После фитирования этого распределения функцией Гаусса в  $\delta_x$ -интервале  $(-0,4 \pm 0,4)$  см было получено координатное разрешение вдоль проволочек  $\sigma_x = 1,25$  мм. Фит в более широком интервале  $(-1,8 \pm 1,8)$  см с помощью функции  $f(\delta_x)$

$$f(\delta_x) = A_1 \exp(-\delta_x^2/(2\sigma_1^2)) + A_2 \exp(-\delta_x^2/(2\sigma_2^2)) \quad (9)$$

в виде суммы двух гауссианов приводит практически к такой же оценке  $\sigma_x$ , определяемой в данном случае через соотношение

$$\sigma_x^2 = (N_1\sigma_1^2 + N_2\sigma_2^2)/(N_1 + N_2) , \quad (10)$$

где  $N_i = A_i \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-x^2/(2\sigma_i^2)) dx$  при  $i = 1, 2$ . Отметим, что поскольку шаг стрипов МКД детекторов был равен 50 мкм, то  $\sigma_x$  полностью определяется исследуемым детектором ДЗЧ.

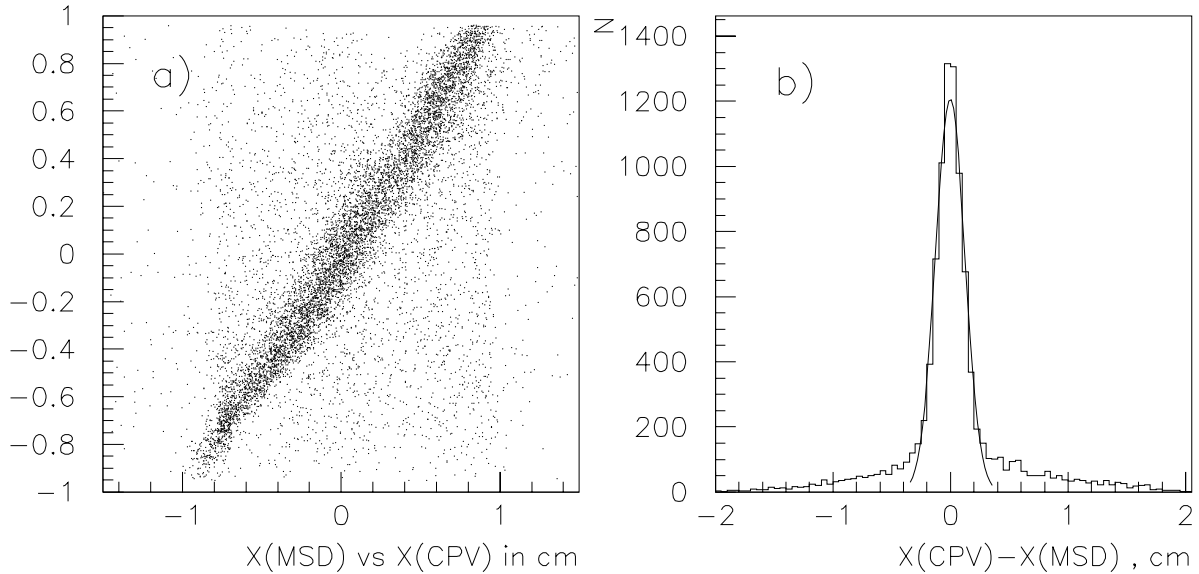


Рис. 9. Корреляция между  $x$ -координатой пересечения плоскости ДЗЧ-детектора заряженной частицей, измеренной с помощью МКД, и этой же координатой, реконструированной в ДЗЧ (а); распределение разности между  $x$ -координатой, определенной в ДЗЧ и МКД (б), сплошная кривая показывает результат фита экспериментальных данных гауссианом, соответствующее значение параметра  $\sigma_x = 1,25$  мм (см. текст). Высокое напряжение — 2050 В.

На рис. 10 представлена зависимость координатного разрешения ДЗЧ  $\sigma_x$  от координаты  $x$  — точки попадания частицы относительно центра главного пада в кластере. Видно, что наихудшее разрешение наблюдается в центре пада, и оно улучшается при попадании ближе к центру пада.

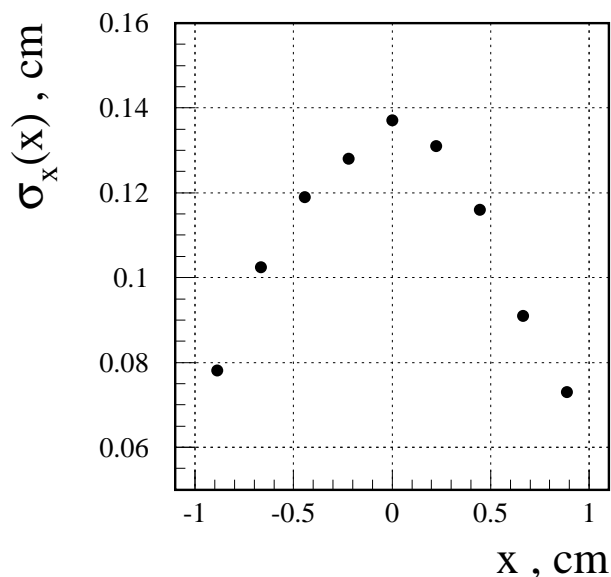


Рис. 10. Зависимость пространственного разрешения ДЗЧ  $\sigma_x$  от  $x$ -координаты точки пересечения детектора заряженной частицей (используется система координат в геометрическом центре анализируемого пада). Высокое напряжение – 2050 В.

Рис. 11 показывает зависимость координатного разрешения ДЗЧ  $\sigma_x$  от приложенного высокого напряжения. При увеличении напряжения от 1950 до 2000 В величина  $\sigma_x$  быстро уменьшается, в то время как в диапазоне 2000–2200 В координатная точность улучшается незначительно и практически остается постоянной.

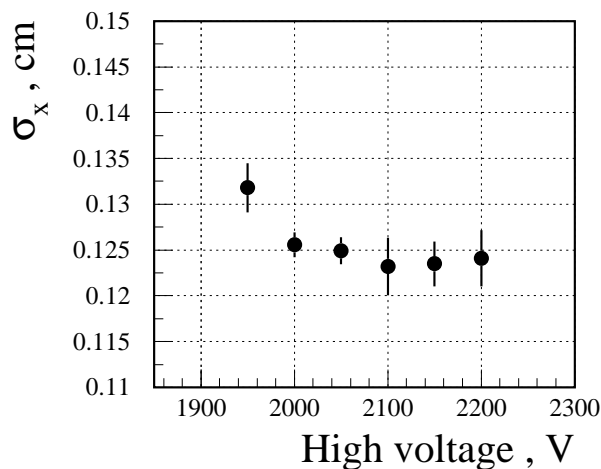


Рис. 11. Зависимость пространственного разрешения ДЗЧ от приложенного высокого напряжения.

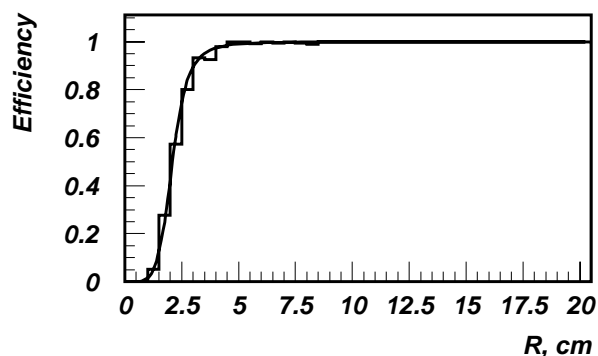


Рис. 12. Вычисленная в симуляционной модели детектора эффективность разделения двух треков в зависимости от расстояния между ними (сплошная кривая — сглаживание результатов сплайном).

### 3.3. Двухтрековое разрешение

Важной характеристикой ДЗЧ является двухтрековое разрешение и его зависимость от расстояния между частицами. Поскольку это достаточно трудно измерить в эксперименте, то было предложено произвести вычисления эффективности распознавания двух треков в рамках разработанной симуляционной модели детектора. В модели раз-

гравуются методом Монте-Карло флуктуации ионизационных потерь, проходящих через газовый объем заряженных частиц. Для определения наведенного на катодных падах электрического заряда используются параметризация (2) функции отклика пада в терминах зарядовой кумулятивной функции (3), а также функция плотности распределения заряда (5), определенные в ходе пучковых тестов. Был принят во внимание и шум электроники.

Эффект перекрытия кластеров для соседних треков в ДЗЧ учитывался суммированием плотностей заряда на падах, наведенных различными треками. Было также принято во внимание и влияние наклона трека. Модель воспроизводит экспериментальный результат по координатной точности (1,25 мм вдоль проволочек) для одиночного нормального падения пучковых частиц.

Процедура распознавания двух треков в ДЗЧ включала несколько шагов: поиск кластеров среди падов с амплитудами  $A_i$  выше некоторого порога  $A_i > A_{thr}$ ; поиск одиночных кластеров и определение их координат, используя формулы (7) и (8); распознавание перекрывающихся треков в кластерах и определение координаты и амплитуды от каждого трека; подавление событий с низкой амплитудой ( $A^{hit} > A_{thr}^{hit}$ ) и перегруппировка близких кластеров в один при маленьких расстояниях.

Распознавание двух треков в кластере основывается на сравнении наблюдаемых с падов амплитуд с амплитудами, которые ожидаются для одного и нескольких треков. Эффективность для двухтрекового разрешения приведена на рис. 12. Видно, что эффективность двухтрекового разрешения при расстоянии между треками 2,5 см лучше чем 50%.

## Заключение

В работе рассмотрен детектор для регистрации заряженных частиц на основе пропорциональных трубок с падовым съемом информации, причем размер пада составил 2,2 x 2,2 см<sup>2</sup>. Исследования, проведенные на пучке, показали, что детектор с такими большими размерами пада имеет высокую эффективность регистрации  $\simeq 99\%$ , хорошее пространственное разрешение (1,25 мм вдоль проволоки и 6,4 мм поперек) для нормально падающих частиц. Эффективность двухтрекового разрешения для расстояния 2,5 см между треками лучше чем 50%. Подобный прибор может быть использован при перекрытии больших площадей как относительно дешевый двухкоординатный детектор заряженных частиц с малой радиационной длиной и пренебрежимой чувствительностью к нейтронным потокам.

В заключение авторы хотели бы выразить свою искреннюю благодарность за поддержку этой работы В.Клемпту, В.И.Манько, В.Ф.Образцову и Н.Е.Тюрину.

## Список литературы

- [1] The Zeus Detector Status report, 1989.
- [2] N.Khovansky et al. // Nucl. Instrum. and Meth. A351, 1994, p. 317–329.
- [3] ALICE Collaboration. Letter of Intent, CERN/LHCC/93-16, December 1993.
- [4] ALICE Technical Proposal. CERN/LHCC/95-71, 15 December 1995.
- [5] ALICE Collaboration. High Momentum PID TDR, ALICE TDR 1, CERN/LHCC 98-19, 1998.
- [6] C.A.E.N. Technical Information Manual, mod. V550, 2-channel C-RAMS, 9 April 1998.
- [7] C.A.E.N. Technical Information Manual, mod. V551B, C-RAMS SEQUENCER, 9 July 1999.
- [8] Ландау Л.Д. // J.Phys, USSR, **8**, 201 (1944) (см. также : Л.Д. Ландау. Собрание трудов. – М.: Наука, 1969. Том 1, стр. 482.)
- [9] Вавилов П.В. // ЖЭТФ **5**, 1957, с. 749.
- [10] Blunck O. and Leisegang S. // Z.Phys **128**, 1950, p.500;  
U.Fano, Rev. Nucl. Sci. **13**, 201 (1963);  
Bichsel H. and Saxon P. // Phys. Rev. **A11**, 1975, p.1286.
- [11] Enddo I., Kawamoto T., Mizuno Y. et al. // Nucl. Instrum. and Meth. 1981, 188, p.51-58.
- [12] Buchholz H. Elektrische und magnetische Potentialfelder, Springer (1957).
- [13] Blick A.M., Bogolyubsky M.Yu., Di Mauro A. et al. – Internal Note ALICE/PHOS 99-08, 28 February 1999.
- [14] Lednev A.A. // Nucl. Instrum. and Meth. A366, 1995, p. 292.
- [15] Bogolyubsky M.Yu., Erin S.V., Lobanov M.O. et al. – Track Hit Coordinate Reconstruction in Gaseous Detectors with Cathode Strip and Pad Readout: Preprint ИИЭП (to be published).

*Рукопись поступила 23 октября 2000 г.*

А.М. Блик, М.Ю. Боголюбский, С.В. Ерин и др.  
Детектор заряженных частиц на основе пропорциональных трубок с катодно-падовым съемом данных.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .  
Редактор Н.В.Ежела. Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 24.10.2000. Формат  $60 \times 84/8$ . Офсетная печать.  
Печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 130. Заказ 206. Индекс 3649.  
ЛР №020498 17.04.97.

---

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

