

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10-2000-108

С.А.Мовчан, К.П.Моисенз, П.В.Моисенз

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ
И КООРДИНАТНОЙ ТОЧНОСТИ
В КЛАСТЕРАХ С ПЕРЕПОЛНЕНИЕМ
ДЛЯ МНОГОПРОВОЛОЧНОЙ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
С КАТОДНЫМ СЧИТЫВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

2000

Торцевая часть компактного мюонного солениоида [1] содержит 3 мюонные станции (ME1, ME2, ME3) с общим центром на оси пучка. Базовым детектором мюонных станций была выбрана многопроволочная пропорциональная камера (МПК) с катодным считыванием информации.

Мюонная станция ME1 состоит из трех частей: ME1/1, ME1/2 и ME1/3. ME1/1 набрана из 36 МПК трапецеидальной формы. В каждой МПК содержится 6 регистрирующих слоев. Диаметр анодной проволоки в регистрирующих слоях составляет 30 мкм, расстояние между анодными проволоками — 2,5 мм, расстояние между анодными проволоками и катодной плоскостью — 3,5 мм. Для определения координаты мюона один из катодов разрезан на полоски (стрипы) вдоль радиуса. Для улучшения функционирования детектора в условиях фона на радиусе 1,5 м катодная плоскость разрезана на две части, при этом в верхней части содержится 64 стрипа, а в нижней — 48. Камера заполнена газовой смесью из Ar (40%), CO₂ (50%) и CF₄ (10%).

Мюоны, проходя через газ, рожают электроны первичной ионизации, которые дрейфуют к анодным проволокам вдоль силовых линий электрического поля. Вблизи анодных проволок первичные электроны порождают электронно-ионные лавины. В результате движения ионов от анода к катодам на последних образуется ток, преобразуемый считывающей электроникой в заряд. При этом индуцированный на *i*-м стрипе заряд $Q_i = Q \cdot q_i$, где Q — заряд, образованный на анодной проволоке, а q_i — доля заряда в стрипе. Именно множество Q_i является исходной информацией для анализа экспериментальных данных с МПК.

Предположим, что дисперсия шума канала электроники, обычно распределенного по нормальному закону, равняется σ^2_{Noise} . Назовем кластером непрерывную последовательность стрипов с уровнем $Q_i > 3\sigma_{Noise}$ ограниченную справа и слева парой стрипов с уровнем $Q_i \leq 3\sigma_{Noise}$. Стрип кластера, содержащий максимальный заряд, назовем центральным стрипом.

Разрядность амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП) составляет 12 бит и соответствует интервалу напряжений от -0,5 до 1,5 В. Однако на практике заряд Q_i может превышать данный интервал, в результате чего возникает так называемое переполнение, что влечет за собой потерю информации со стрипа. На рис. 1 схематически показано амплитудное распределение сигналов с центрального стрипа в кластере относительно динамического диапазона АЦП. Темным цветом обозначена область, в которой возникает переполнение.

Channel Dynamic Range is from $-0.5V$ up to $1.5V$.
 SCA Pedestal (P) is $300mV$.
 Most Probability Cluster Charge is $300mV$ for Gas Gain $6 \cdot 10^4$.

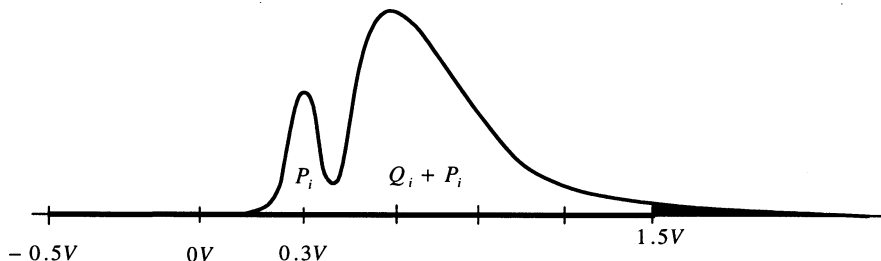


Рис. 1. Схема амплитудного распределения сигналов с центрального стрипа в кластере

На рис. 2 представлено распределение заряда (с вычетом пьедестала канала электроники) в центральном стрипе кластера для прототипа РЗ МПК [2]. Пики на рисунке соответствуют случаям переполнений.

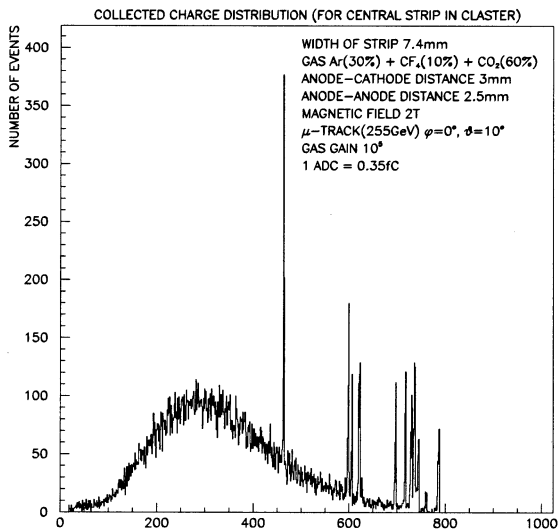


Рис. 2. Распределение заряда в центральном стрипе кластера

В работе [3] подробно рассматриваются метод отношений и метод фитирования для восстановления центра кластера (координаты мюона) в условиях отсутствия переполнения. Ниже исследуются вариации упомянутых методов восстановления

центра кластера без учета центрального стрипа в условиях переполнения. На первом этапе решается вопрос о вероятности появления переполнения поперек стрипа и характере переполнений в кластере. Для этого была исследована экспериментальная информация, полученная с прототипа РЗ МПК. Координата мюона внутри стрипа определялась по информации с шести регистрирующих слоев. Результаты исследования представлены на рис. 3, из которого видно, что переполнения поперек стрипа распределены практически равномерно. Вероятность возникновения переполнения составляет примерно 7%, для десятиразрядного АЦП и газового усиления 10^5 . Из указанных 7% примерно 6% приходится на переполнения в одном стрипе, 0,8% — на переполнения в двух стрипах и около 0,05% — на переполнение в трех стрипах.

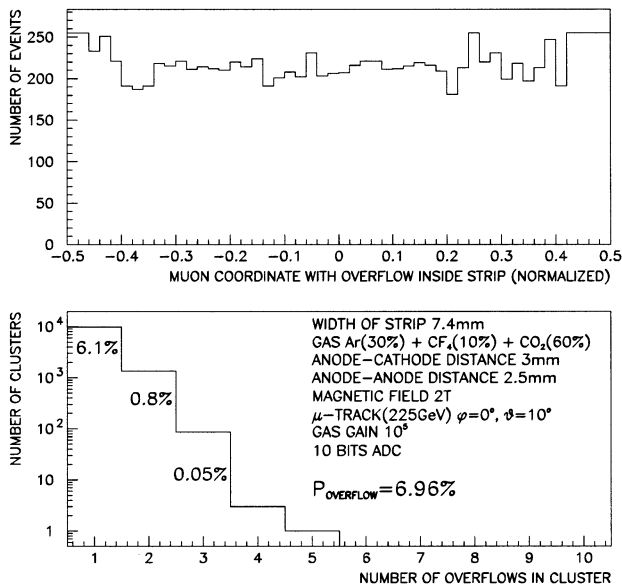


Рис. 3. Распределение переполнений внутри стрипа и количество переполнений в кластере

Стрипы, прилегающие к центральному стрипу справа, обозначим как Q_{i+1} , Q_{i+2} слева — Q_{i-1} , Q_{i-2} (см. рис. 4). Соотношение зарядов в указанных стрипах характеризует положение мюона (x) относительно центра стрипа. Величину α , передающую соотношение упомянутых стрипов, построим в виде

$$\alpha = \frac{Q_{i+1} - Q_{i-1}}{Q_{i+1} + Q_{i-1} - Q_{i+2} - Q_{i-2}}$$

Следует отметить, что значение α не зависит от систематического и пропорционального изменения зарядов, что важно с практической точки зрения. Передаточная функция $f(\alpha)$ обеспечивает связь величин x и α . Как было показано в работе [3], передаточная функция представляет собой функцию распределения α , умноженную на ширину стрипа и сдвинутую на половину стрипа для случая равномерной плотности распределения координат мюонов поперек стрипа. Последнее условие достаточно мягкое для большинства экспериментов. На рис. 5 представлена функция распределения α .

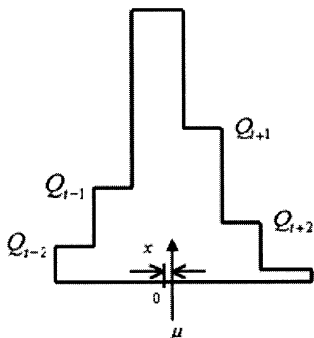


Рис. 4. Схематический вид кластера

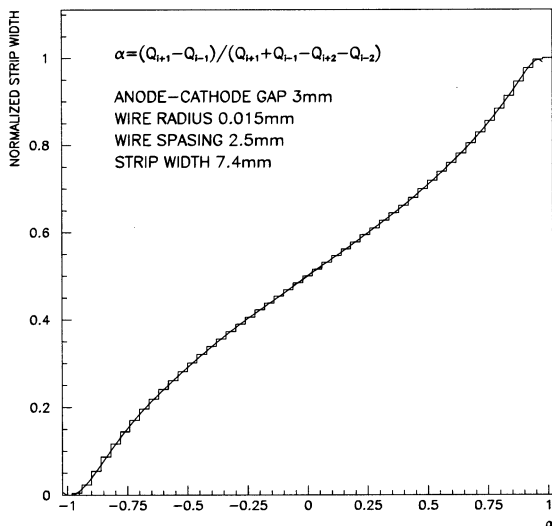


Рис. 5. Функция распределения α

Точность определения координаты $\sigma(x)$ без учета влияния диффузии электронов, магнитного поля и качества изготовления камеры можно представить как

$$\sigma(x) = \frac{\sqrt{2}\sigma_{Noise} \sqrt{(Q_{i+1} + Q_{i-1} - Q_{i+2} - Q_{i-2})^2 + (Q_{i+1} - Q_{i-1})^2}}{(Q'_{i-1} - Q'_{i+1})(Q_{i+2} + Q_{i-2}) + (Q_{i+1} - Q_{i-1})(Q'_{i+2} + Q'_{i-2}) + 2Q'_{i+1}Q_{i-1} - 2Q'_{i-1}Q_{i+1}},$$

где Q_{i+1} , Q_{i-1} , Q_{i+2} , Q_{i-2} — измеренные на стрипах заряды, а σ_{Noise} — дисперсия шума канала электроники. В случае, когда $x = 0$, т.е. мюон проходит через центр стрипа, $\sigma(x)$ имеет вид

$$\sigma(x) = \frac{\sigma_{Noise}}{\sqrt{2}Q_{Cluster}q'_{i+1}},$$

где $Q_{Cluster}$ — полный заряд, измеренный на катоде, q'_{i+1} — производная от доли индуцированного в правом стрипе заряда.

В работе [3] был рассмотрен другой метод восстановления передаточной функции — метод фитирования, в рамках которого координата мюона x и заряд Q , измеренный на катоде, определяются из условия минимума F , где

$$F(x, Q) = \sum_{j=1}^n (Q_j^{mea} - Qq_j(x))^2,$$

n — число стрипов в кластере,

j — номер стрипа в кластере,

Q_j^{mea} — измеренный заряд в стрипе,

q_j — доля индуцированного на стрипе заряда.

Точность восстановления координаты $\sigma(x)$ для случая отсутствия информации в центральном стрипе представляется как

$$\sigma(x) = \frac{\sigma_{Noise}}{Q \cdot \sqrt{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n q_j'^2 \cdot \left(1 - \frac{\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n q_j q_j' \right)^2}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n q_j'^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n q_j^2} \right)}},$$

где i — номер центрального стрипа с переполнением.

Для случая, когда мюон проходит через центр стрипа, легко найти, что

$$\sigma(x) = \frac{\sigma_{Noise}}{\sqrt{2} \cdot Q \cdot \sqrt{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n/2} q_j'^2}}$$

далее, для n , равных 2 либо 3, получим

$$\sigma(x) = \frac{\sigma_{Noise}}{\sqrt{2} \cdot Q \cdot q'_{i+1}}$$

Принимая во внимание результаты работы [3] и полученные формулы, можно сделать вывод о том, что координатные точности метода отношений и метода фитирования при попадании мюона в центр стрипа совпадают независимо от наличия переполнения.

На рис. 6 представлены зависимости координатной точности от координаты прохождения мюона в стрипе для метода отношений и метода фитирования как в случае с переполнением, так и без него. Откуда видно, что оба метода имеют координальное различие в поведении для случаев, когда центральный стрип учитывается и когда нет, при этом точность методов определения координаты, не использующих центральный стрип кластера, тем хуже, чем дальше проходит мюон от центра стрипа.

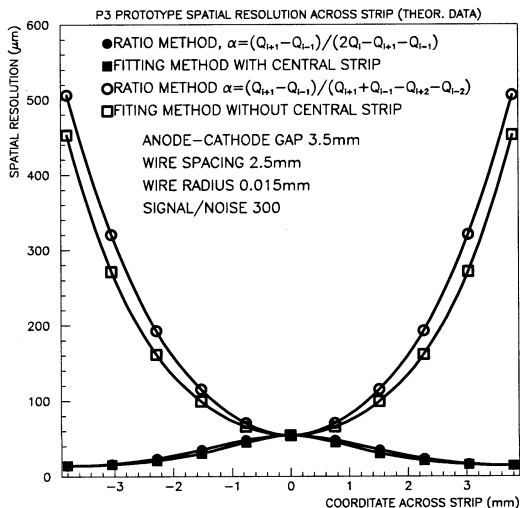


Рис. 6. Координатная точность поперек стрипа для метода отношений и метода фитирования (теория)

Для подтверждения характера поведения координатной точности поперек стрипа были проанализированы экспериментальные данные с прототипа РЗ МПК. Полученные результаты представлены на рис. 7. Видно, что данные, полученные в ходе эксперимента, качественно подтверждают теоретические предположения. Различие координатной точности поперек стрипа между теорией и экспериментальными данными вызвано наличием в последних влияния диффузии электронов, магнитного поля и качества изготовления камеры.

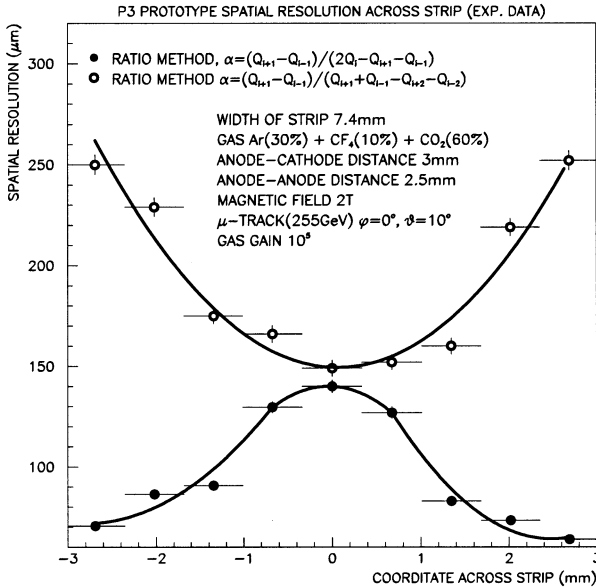


Рис. 7. Координатная точность поперек стрипа для метода отношений (экспериментальные данные)

Аналитическое исследование показало, что координатная точность прямо пропорциональна шуму канала электроники (σ_{Noise}) и обратно пропорциональна измеренному заряду ($Q_{Cluster}$) и скорости изменения доли заряда (Q'_{i+1}). Принимая во внимание тот факт, что переполнения возникают при больших зарядах, было исследовано поведение точности относительно величины заряда в кластере. Результаты этого исследования представлены на рис. 8, на котором хорошо видно, что с увеличением заряда кластера точность улучшается.

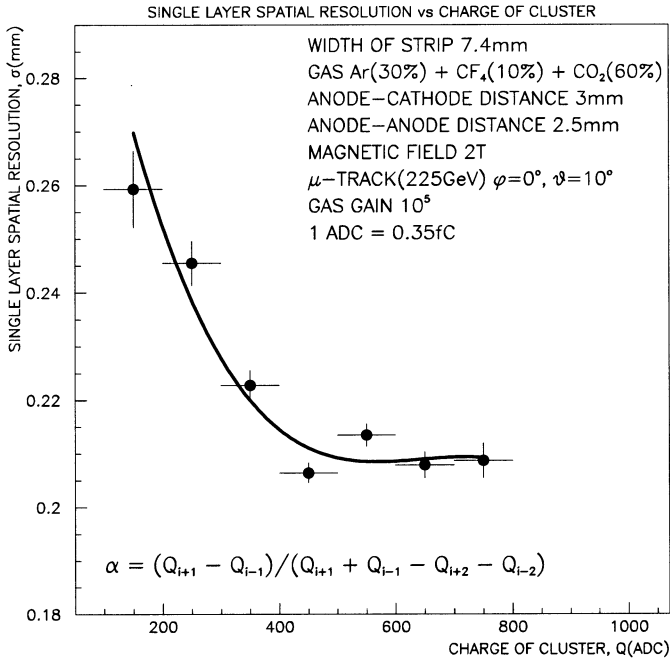


Рис. 8. Зависимость точности измерения координаты от заряда кластера

Заключение

В работе предложены и исследованы метод отношений и метод фитирования, предназначенные для восстановления координаты центра кластера (координаты мюона) без учета величины заряда в центральном стрипе (случай переполнения). Найдено, что заряд центрального стрипа кластера не влияет на точность восстановления координаты мюона любым из методов в случае прохождения мюона через центр стрипа. Было выяснено, что координатная точность ухудшается при движении от центра стрипа к его границам. Например, используя метод отношений для прототипа РЗ МПК при ширине стрипа 7,4 мм и газовом усилении 10⁵, точность в центре стрипа составляет 150 мкм, а на границе стрипа — 350 мкм.

Авторы выражают благодарность И.А. Голутвину за постоянный интерес и поддержку работы, а также коллегам из ЛФЧ за полезные обсуждения.

Литература

- [1] CMS. The Compact Muon Solenoid. Technical Proposal. CERN/LHCC 97-38, LHCC/P1, Geneva, Switzerland, 1994.
CMS. The Muon Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-32, CMS TDR 3, Geneva, Switzerland, 1997.
- [2] Erchov Yu. V. et al., P3 — The Full-Scale Prototype Of The ME1/1 CSC, Dubna, Russia, 1999.
- [3] Зубов К.А. и др. Математическое обеспечение многопроволочной пропорциональной камеры с катодным считыванием информации. Сообщение ОИЯИ P10-99-118, Дубна, 1999.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 мая 2000 года.

Мовчан С.А., Моисенз К.П., Моисенз П.В.

P10-2000-108

Определение передаточной функции и координатной точности в кластерах с переполнением для многопроволочной пропорциональной камеры с катодным считыванием информации

В работе предложены и исследованы метод отношений и метод фитирования, предназначенные для восстановления координаты центра кластера (координаты мюона) без учета заряда в центральном стрипе. Найдено, что заряд центрального стрипа кластера не влияет на точность восстановления координаты мюона любым из методов в случае прохождения мюона через центр стрипа. Показано, что координатная точность ухудшается при движении от центра стрипа к его границам. Например, используя метод отношений для прототипа P3 МПК при ширине стрипа 7,4 мм и газовом усилении 10^5 , точность в центре стрипа составляет 150 мкм, а на границе стрипа — 350 мкм.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Movchan S.A., Moissenz K.P., Moissenz P.V.

P10-2000-108

Cathode Strip Chamber Transmission Function and Single Layer Spatial Resolution for Clusters with Overflow

Two methods (ratio method and fitting method) were proposed and investigated for muon coordinate reconstruction of cluster center without central strip with overflow. When muon passes close to the strip center, overflow of central strip doesn't influence on muon spatial resolution for both methods. Spatial resolution is worse in the strip edge. For example, using the ratio method for CSC P3 prototype with strip width 7.4 mm and gas gain 10^5 the muon spatial resolution in the strip center is about 150 μm on the strip edge.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор Е.Ю.Шаталова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 05.06.2000

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,48

Тираж 300. Заказ 52063. Цена 58 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области