

# Прецизионный вершинный детектор - микро дрейфовая камера для эксперимента DIRAC

А.В.Дударев, В.В.Круглов, Л.Ю.Круглова, М.В.Никитин

## Аннотация

В данной работе исследовались возможности использования техники дрейфовых камер с малым дрейфовым промежутком (МДК - микро дрейфовые камеры) в качестве прецизионного вершинного детектора в передней части установки DIRAC [1].

Проведено моделирование двух различных конфигураций ячейки МДК с помощью пакета GARFIELD [2]. На основании результатов моделирования выбрана оптимальная геометрия ячейки.

Создан прототип МДК, состоящий из одной дрейфовой ячейки. Используя данный прототип, проведены измерения характеристик камеры при разных значениях загрузки, порога электроники и давления.

Полученные данные наряду с ожидаемой координатной точностью МДК позволяют использовать такую камеру для широкого поля задач, в том числе и в эксперименте DIRAC.

## 1. Введение

Целью эксперимента DIRAC [3] является измерение с высокой точностью времени жизни  $\pi^+\pi^-$  атомов, а в дальнейшем, также атомов, состоящих из пары заряженных  $\pi$  и  $K$ -мезонов [4]. Эксперимент проводится на выведенном пучке протонов с импульсом 24 GeV/c на ускорителе PS CERN. Установка DIRAC [1] представляет собой двухплечевой магнитный спектрометр с детекторами, расположенными до и после магнита.

Основной задачей установки является регистрация пар заряженных пионов с малым относительным импульсом ( $Q < 3MeV/c$ ). В области между мишенью и магнитом расстояние между такими частицами будет  $\sim 200\mu m$ . Т.о. задача координатного детектора в этой части установки

включает в себя эффективное разделение двух близких треков. Для решения такого рода задач обычно используются вершинные детекторы с мелкой структурой. Но зачастую такие детекторы сложны, капризны и дорогостоящи. В принципе данная задача может быть решена с помощью техники дрейфовых камер.

Рассмотрим процесс регистрации заряженной частицы в ячейке дрейфовой камеры. В случае одной частицы электроны первичной ионизации дрейфуют к анодной проволоке и при достаточном электрическом поле возникает лавина. Она захватывает участок проволоки, называемый “мертвой зоной”, в которой в течение некоторого времени невозможно развитие второй лавины. Таким образом, если через одну дрейфовую ячейку одновременно прошло две частицы, то одна из них может быть незарегистрирована: либо не создав лавину, либо из-за мертвого времени электроники считывания.

Рассмотрим теперь две детектирующие плоскости дрейфовой камеры, смещенные друг относительно друга на половину шага, как это обычно делается для решения проблемы лево-правой неопределенности (рис.1). В случае двух близких треков сигнал в каждой из плоскостей будет вызван тем треком, который прошел ближе в проволоке, т.о. оба трека могут быть зарегистрированы.

Кроме того, представляется возможным создание триггера для пары близких треков, основанного на измерении суммы времен с двух плоскостей дрейфовой камеры. В случае одного трека, перпендикулярного к камере, эта сумма должна оставаться постоянной, независимо от места прохождения трека. В случае двух треков сумма времен будет тем меньше, чем больше расстояние между треками.

Следующим немаловажным требованием к координатному детектору в области между мишенью и магнитом установки DIRAC является высокая загрузочная способность ( $\sim 10^6 s^{-1} cm^{-2}$ ). Для увеличения точности измерения координаты с помощью дрейфовых камер в условиях высокой загрузки необходимо уменьшать размер элементарной дрейфовой ячейки.

В ряде статей [5]-[8] была показана возможность работы дрейфовых камер с малым дрейфовым промежутком ( $\sim 1-3$  мм) в режиме с высоким газовым усилением ( $\sim 10^7$ ) при высокой загрузке ( $\sim 10^7 s^{-1} cm^{-2}$ ). Работа камеры в режиме большого газового усиления имеет ряд преимуществ, а именно: большая амплитуда сигналов с камеры позволяет использовать электронику считывания с высоким порогом, а также, благодаря корот-

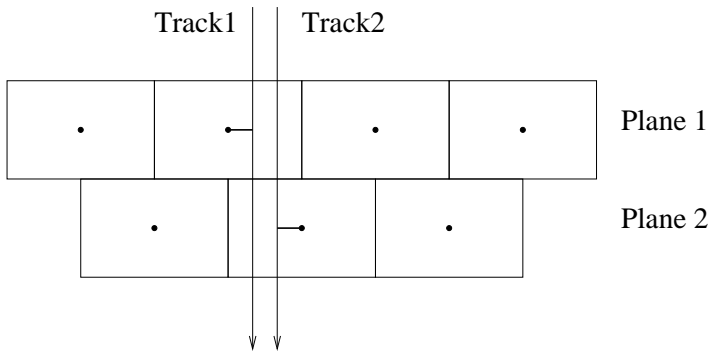


Рис. 1: Схема регистрации близких треков с помощью двух плоскостей дрейфовой камеры.

ким импульсам с быстрым временем нарастания сигналов, значительно улучшаются временные характеристики детектора.

В качестве усовершенствования установки DIRAC, а именно для более точного измерения координат треков в области между мишенью и магнитом, было предложено использовать систему дрейфовых камер с малым дрейфовым промежутком - микро дрейфовых камер (МДК).

## 2. Геометрия дрейфовой ячейки

Поперечный размер вторичного пучка частиц в том месте экспериментальной установки DIRAC, где предполагается использование МДК, составляет  $\sim 80 \times 80 \text{mm}^2$ . Из соображений, чтобы число каналов одной регистрирующей плоскости МДК было кратно 16-ти, и размер одной ячейки был достаточно мал для эффективного разделения двух близких треков, расстояние между сигнальными проволоками МДК было выбрано равным  $s = (1/10)' = 2.54 \text{mm}$ .

Рассматривались две возможные реализации геометрии ячейки МДК (см. рис.2).

Предполагается, что сигнальные проволоки находятся под нулевым, а катодные плоскости и полеформирующие электроды - под общим отрицательным потенциалом.

На рис.3 приведена карта электрического поля внутри дрейфовой ячейки для двух различных конфигураций. Ячейка с полеформирующими проволоками отличается большими областями слабого электрическо-

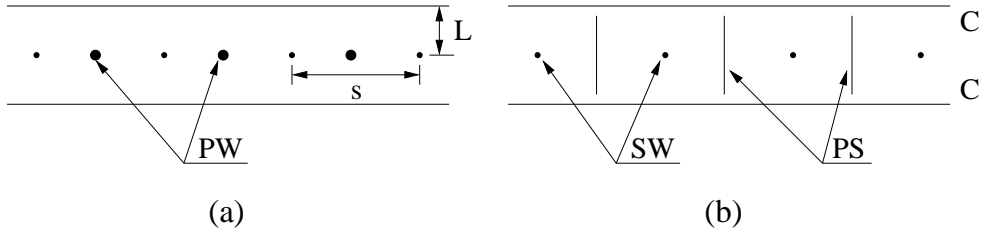


Рис. 2: Схема расположения электродов МДК: а) с полеформирующими проволоками PW диаметром  $d_{pw} = 50\mu m$ ; б) с полеформирующими полосками PS шириной  $d_{ps} = 1.6mm$ . Здесь: SW - сигнальные проволоки диаметром  $d_{sw} = 40\mu m$ , C - катодные плоскости,  $s = 2.54mm$  - шаг сигнальных проволок,  $L = 1mm$  - зазор между плоскостью проволок и плоским катодом.

го поля, которые ухудшают временные характеристики камеры. Другим недостатком этой конфигурации является то, что при прохождении трека вблизи полеформирующей проволоки возможно срабатывание также соседней ячейки, что является нежелательным в условиях высокой загрузки камеры.

### 3. Газовая смесь

В качестве газовой смеси для МДК была выбрана смесь:  $Ar(33\%) + iC_4H_{10}(66\%) + H_2O(1\%)$ . Эта газовая смесь хорошо зарекомендовала себя при работе системы дрейфовых камер в эксперименте DIRAC. Она обладает следующими преимуществами:

- стабильно работает в режиме высокого газового усиления;
- имеет широкое плато ( $>1kV$ ) эффективности;
- быстрое время нарастание фронта сигнала ( $\sim 5 ns$ );
- скорость дрейфа электронов  $v(E/p)$  слабо зависит от  $E/p$  почти во всем интервале значений поля в ячейке камеры (см. рис.4).

Для этой газовой смеси при нормальном давлении среднее число кластеров первичной ионизации, образованной при проходе через камеру п-мезона с импульсом  $2 GeV/c$ , составляет  $\sim 17$ . Если частицы проходят

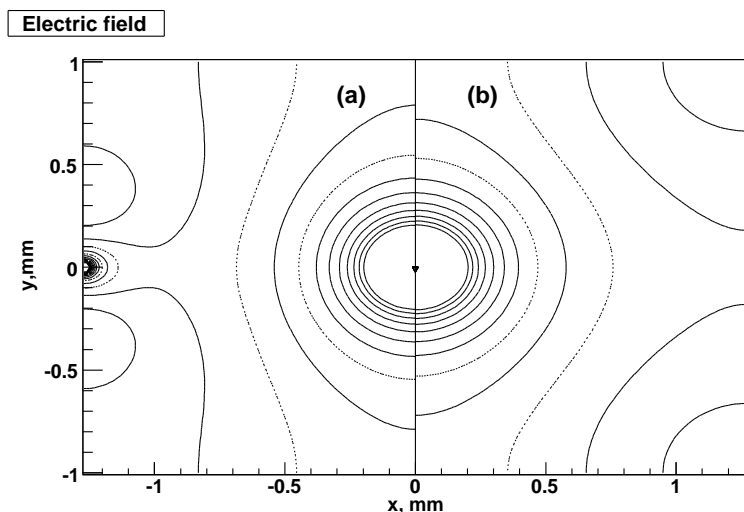


Рис. 3: Карта электрического поля в ячейках МДК: а) для ячейки с полеформирующими проволоками; б) для ячейки с полеформирующими стрипами, рассчитанная с помощью пакета GARFIELD [2]. Напряжение на камере  $U=2.5\text{kV}$ . Изолинии соответствуют напряженностям поля  $2.5, 5.0, \dots 30.0\text{kV/cm}$ .

вблизи сигнальной проволоки, то флуктуации первичной ионизации приводят к существенному разбросу по времени дрейфа. Уменьшить этот разброс можно, например, увеличив давление в камере. Как будет показано ниже, увеличение давления способствует также более стабильной работе камеры.

На рис.5 изображены результаты моделирования дрейфовой функции для выбранной конфигурации ячейки МДК (рис.2b), газовой смеси:  $Ar(33\%) + iC_4H_{10}(66\%) + H_2O(1\%)$  при давлении  $p = 2$  атм. Видно, что дрейфовая функция близка к линейной, максимальное время дрейфа составляет  $t_{max} = 22\text{ns}$ , и разброс времен дрейфа, обусловленный флуктуациями первичной ионизации, диффузией и другими процессами в газе, не превышает  $0.5\text{ ns}$ .

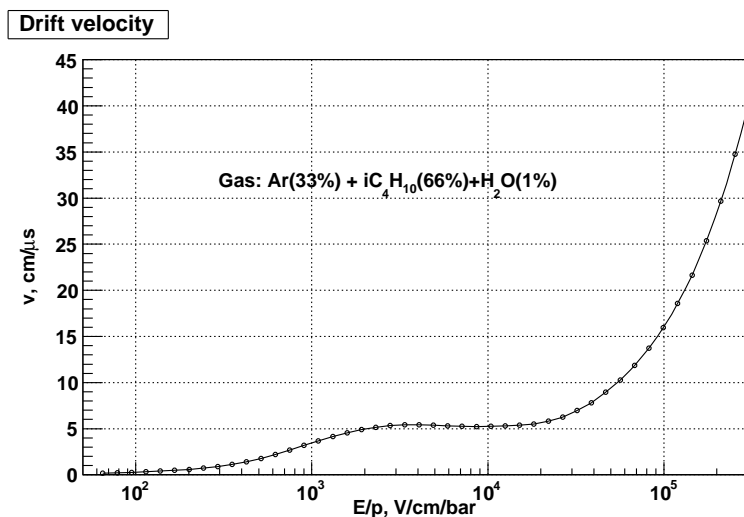


Рис. 4: Зависимость скорости дрейфа электронов от напряженности поля, рассчитанное с помощью пакета GARFIELD [2]

#### 4. Испытания прототипа МДК, состоящего из одной дрейфовой ячейки

Для изучения характеристик МДК был создан прототип, представляющий собой одну ячейку в конфигурации с полеформирующими стрипами (см.рис.2b), с сигнальной проволокой из бериллиевой бронзы диаметром 40 мкм. Катодные плоскости и полеформирующие стрипы были изготовлены из лавсановой пленки толщиной 25 мкм, покрытой углеродом с проводимостью  $400 \text{ Ohm}/\square$ . Размеры ячейки составляли  $2.5 \times 2 \times 80 \text{ mm}^3$ . Ячейка была помещена в герметичный алюминиевый бокс, что позволяло изменять давление внутри ячейки.

Исследования проводились на стенде, состоящем из прототипа МДК, телескопа из двух сцинтилляционных счетчиков и коллимированного источника  $^{90}\text{Sr}$ .

Были измерены кривые эффективности и одиночного счета ячейки МДК при разных значениях загрузки, давления и порога регистрации электроники, а также временные спектры сигналов.

Поток электронов на единицу длины сигнальной проволоки определялся расстоянием от источника до коллиматора и изменялся в пределах:

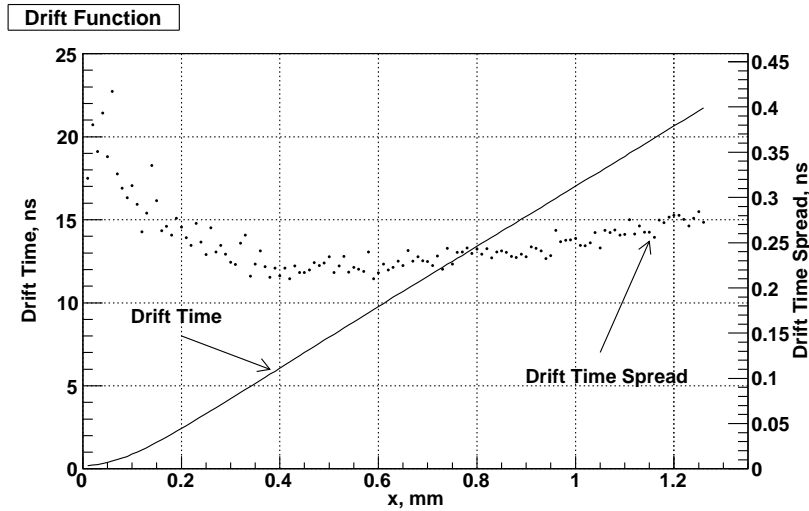


Рис. 5: Дрейфовая функция и разброс времен дрейфа, рассчитанные с помощью пакета GARFIELD [2] для МДК при  $U = 3.5kV$

$$(1 \div 50) \times 10^3 \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-1}.$$

Сигнал с камеры поступал на компаратор и далее на схему совпадений и счетчик. Порог компаратора составлял:  $I_{th} = 5, 10, 20$  и  $50 \mu A$ .

Камера продувалась газовой смесью:  $Ar(33\%) + iC_4H_{10}(66\%) + H_2O(1\%)$ . Измерения проводились при трех значениях абсолютного давления в камере:  $p = 1.0, 1.5, 2.0 \text{ bar}$ . С увеличением давления камера показывала более устойчивую работу. Увеличивалась ширина плато эффективности, улучшалась форма сигнала, уменьшался разброс времен дрейфа.

На рис.6 приведены типичные кривые эффективности и одиночного счета, измеренные при давлении  $p = 2.0 \text{ bar}$  и пороге компаратора  $I_{th} = 10 \mu A$ .

Также были измерены временные спектры сигналов с ячейки МДК от источника  $^{90}Sr$  при давлении газовой смеси  $p = 2 \text{ bar}$  при нескольких значениях порога компаратора и напряжении на камере, соответствующем плато эффективности при данном пороге. Типичный временной спектр приведен на рис.7. Максимальное время дрейфа составило около  $20 \text{ ns}$ . Такой временной спектр соответствует не достаточно линейной дрейфовой функции, но это в большой степени связано с источником частиц в данном измерении и трудностью получить надежный триггер для измерения времени.

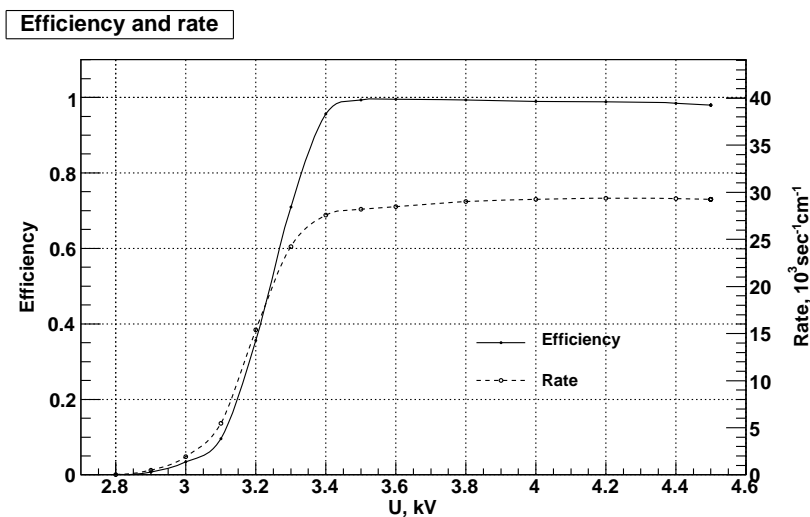


Рис. 6: Эффективность и одиночный счет ячейки МДК при пороге регистрации  $I_{th} = 10 \mu A$ .

## 5. Заключение

В данной работе исследовались характеристики прототипа дрейфовой камеры с малым дрейфовым промежутком, работающей в режиме большого газового усиления, с точки зрения использования таких камер в качестве трекового детектора в области перед магнитом установки DIRAC.

На основании требований эксперимента и результатов моделирования с помощью пакета GARFIELD, были выбраны оптимальная геометрия камеры и состав газовой смеси. Был изготовлен прототип, состоящий из одной дрейфовой ячейки, и измерены его характеристики. Измерения проводились с источником  $^{90}\text{Sr}$  при разных значениях загрузки, давления в камере и порога регистрации.

Было показано, что с повышением давления работа камеры становится более устойчивой и при давлении  $p = 2 \text{ bar}$  плато эффективности при потоке частиц на единицу длины сигнальной проволоки вплоть до  $5 \times 10^4 \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  порога регистрации вплоть до  $50 \mu A$  составляет несколько сотен вольт.

Полученные данные наряду с ожидаемой координатной точностью МДК позволяют использовать такую камеру для широкого поля задач,



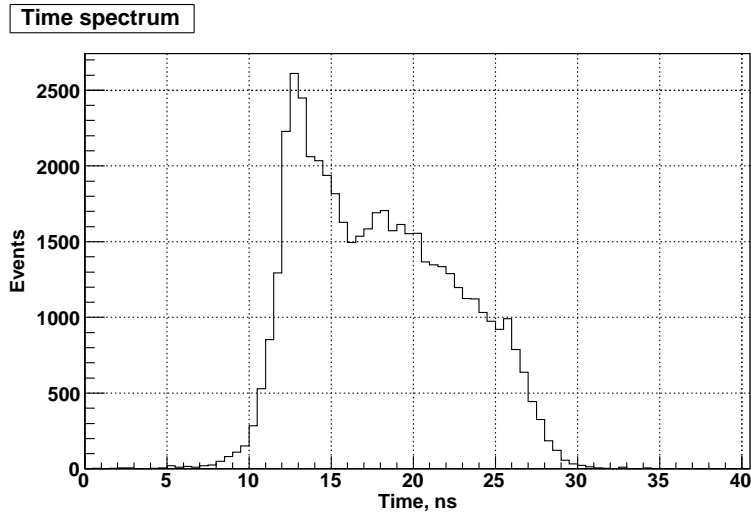


Рис. 7: Временной спектр сигналов с ячейки МДК при пороге  $I_{th} = 10 \mu A$ . Напряжение  $U = 4.0 kV$ , давление  $p = 2 bar$ .

в том числе и в эксперименте DIRAC.

Следующим шагом на пути к созданию прецизионного вершинного детектора для эксперимента DIRAC должно стать изготовление прототипа, состоящего из двух плоскостей МДК и его испытание в реальных условиях на пучке с целью проверки возможности стабильной работы детектора в условиях высокой загрузки и оценки основных характеристик камеры: эффективности, точности измерения координаты и разрешения по двум близким трекам.

## Список литературы

- [1] B.Adeva et al., DIRAC: A High resolution spectrometer for pionium detection, *Nucl.Instr.and Meth.* **A515**(2003) 467–496
- [2] R.Veenhof, Garfield, a drift chamber simulation program, Version 7.04, <http://consult.cern.ch/writeup/garfield>.
- [3] B.Adeva et al., Detection of  $\pi^+\pi^-$  atoms with the DIRAC spectrometer at CERN, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **30**(2004) 1929–1946

- [4] B.Adeva et al., First observation of  $\pi K$  atom and its lifetime measurement, CERN/SPSC 2000-032, SPS/P284, Add.2, Geneva 2000.
- [5] A.H.Walenta, State-of-the-art and application of wire chambers, *Nucl.Instr.and Meth.***217**(1983) 65–76
- [6] S.Majewski et al., A thin multiwire chamber operating in the high multiplication mode, *Nucl.Instr.and Meth.***217**(1983) 265–271
- [7] I.E.Chirikov-Zorin et al., Characteristics of a mini drift chamber, *Nucl.Instr.and Meth.* **A260**(1987) 142–145
- [8] S.V.Erin et al., Mini drift chambers: operations with various gas mixtures, *Nucl.Instr.and Meth.* **A283**(1989) 682–685