

УДК 539.1.074

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР (MDC-2) С МАЛЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ЧАСТИ СПЕКТРОМЕТРА HADES

С.П.Черненко, Г.Н.Азакишиев, В.Ф.Чепурнов, О.В.Фатеев, Л.Н.Глонти, А.Г.Петров, В.Н.Печенов, Л.П.Смыков, Ю.В.Заневский, Г.Бокемайер¹, Х.Дауес¹, Й.Хинэ¹, В.Кениг¹, Г.Штельцер¹, Ч.Гарабатос², И.Кемптер², К.Мюнц², И.Штрот², Е.Вустенфельд², П.Цумбрух²

HADES — широкоапертурный диэлектронный спектрометр, создаваемый в GSI (Дармштадт) для регистрации лептонных пар, образующихся в результате столкновений тяжелых ядер. HADES способен работать при интенсивностях пучка до 10^8 частиц/с. Детектор имеет геометрический акцептанс почти 40% для e^+e^- — пар и разрешение по массам 0,8% (σ) для ρ - и ω -мезонов. Четыре системы дрейфовых камер с малой массой предназначены для восстановления треков заряженных частиц. Относительная радиационная длина трековой системы не превышает 0,5% за счет использования газовой смеси на основе гелия и алюминиевой проволоки при создании катодных и анодных плоскостей. Разработан полномасштабный прототип дрейфовой камеры с малой массой для внутренней части спектрометра HADES. Прототип тестировался в лабораторных условиях с источниками ^{55}Fe и ^{90}Sr в ОИЯИ и GSI, а также на пучке синхротрона SIS (GSI). Пространственное разрешение ~ 70 мкм (σ) было получено на газовой смеси He — $i\text{C}_4\text{H}_{10}$ (60:40).

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Development and Investigation of Low-Mass Multilayer Drift Chambers (MDC-2) for Inner Part of the HADES Spectrometer

S.P.Chernenko et al.

HADES is a High Acceptance Di-Electron Spectrometer for measuring lepton pairs produced in heavy-ion induced reactions presently built up at GSI (Darmstadt). HADES is able to run at high intensities of up to 10^8 beam particles per second. The detector has a geometrical acceptance of almost 40% for e^+e^- pairs and a mass resolution of 0.8% (σ) for ρ and ω mesons. Four low-mass drift chamber systems serve for charged particle track reconstruction. The relative radiation length of the tracking system is kept

¹GSI, 64291, Darmstadt, Германия

²Университет Иоганна Вольфганга Гете, 60486, Франкфурт, Германия

below 0.5% by using helium based gas mixtures and Aluminium wires for the field wires and cathode planes. A full size prototype of a low mass drift chamber for the inner part of the HADES spectrometer has been developed. The prototype has been tested under laboratory conditions with ^{55}Fe and ^{90}Sr sources at JINR and GSI as well as in the beam of the SIS. A spatial resolution about 70 microns σ was obtained with He- iC_4H_{10} (60:40) gas mixture.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Как показывают современные КХД-расчеты, сигналом образования плотной и горячей ядерной материи (так же, как и возможного образования кварк-глюонной фазы) может служить изменение свойств адронов (массы, константы распада, формфакторы и др.) внутри такой среды. Наиболее полную информацию о таких изменениях дает исследование электромагнитных мод распада адронов, так как лептоны и фотоны слабо взаимодействуют с ядерной материей. Изучение таких распадов позволяет получить информацию о свойствах распадающихся адронов на всех стадиях образования плотной и горячей ядерной материи вплоть до перехода в нормальное состояние. Исследование изменений свойств диэлектронных мод распада легких векторных мезонов (ρ , ω , ϕ), образовавшихся при столкновении различных ядер при энергиях 1 – 2 ГэВ/нуклон, может свидетельствовать об образовании горячей и плотной ядерной материи и позволит изучать свойства такой материи. По различным теоретическим оценкам, достигаемое при этих энергиях увеличение плотности ядерной материи может приводить к уменьшению масс этих резонансов на $\sim 15 - 30\%$ и (или) увеличению ширины распадов.

Регистрация и выделение диэлектронных мод распада адронов, доля которых составляет $10^{-5} - 10^{-7}$ от адронных мод распада, на уровне $\sim 10^{-3}$ от адронного фона является сложной методической задачей. Такими уникальными возможностями будет обладать установка HADES (High Acceptance Di-Electron Spectrometer), создаваемая коллаборацией ученых из 19 институтов 9 европейских стран.

Рождение диэлектронных пар в ядро-ядерных столкновениях исследовалось в двух экспериментах: на установке DLS в BNL [1] и на установке CERES в ЦЕРНе [2,3]. Полученные на этих установках экспериментальные данные о рождении e^+e^- -пар позволили обнаружить существенные отличия спектров эффективных масс диэлектронных пар от теоретически рассчитанных.

Установка HADES будет иметь значительно лучшие (чем в [1,2]) акцептанс и разрешение по эффективным массам дилептонных пар. Разрешение установки HADES позволит разделить ω - и ρ -мезоны, имеющие близкие массы. Скорость набора статистики будет примерно в 25 раз выше, чем на DLS. Кроме того, использование ускорителя SIS (GSI, Дармштадт) позволит исследовать рождение диэлектронных пар в столкновениях адронов от π^+p до $^{238}\text{U}^{238}\text{U}$ при кинетических энергиях пучка до 2 ГэВ/нуклон.

2. СПЕКТРОМЕТР HADES

Схематично спектрометр HADES представлен на рис.1 [4]. Основными элементами установки являются газовый черенковский детектор, многослойные дрейфовые камеры,

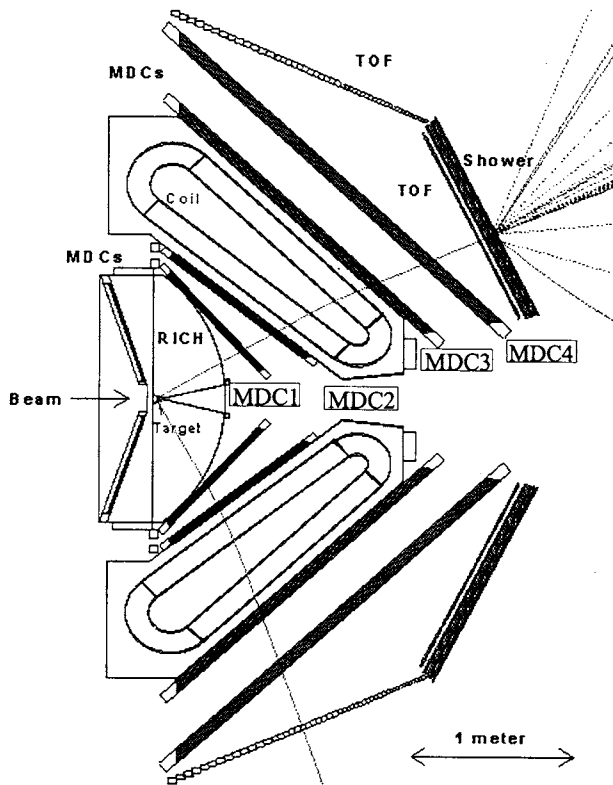


Рис. 1. Схематичный вид спектрометра HADES: RICH — черенковский счетчик, MDCs — многопроволочные дрейфовые камеры, TOF — времяпролетные сцинтилляционные детекторы, Shower — детектор электромагнитных ливней

сверхпроводящие магниты, времяпролетные детекторы и детекторы электромагнитных ливней. Спектрометр перекрывает полярный угол от 18 до 85 градусов и полный азимутальный угол и имеет геометрический акцептанс около 40% [5]. Черенковский детектор (RICH) располагается вокруг мишени и используется для идентификации электронов. Он состоит из газового радиатора, сферического зеркала и быстрого газового фотонного детектора с фотокатодом из CsI [6]. Информация с черенковского детектора используется для выработки триггера второго уровня для отбора событий, в которых родились e^+e^- -пары. Набор из четырех плоскостей многопроволочных дрейфовых камер (MDCs) совместно с шестью сверхпроводящими магнитами (Coil) образуют магнитный спектрометр для измерения импульсов заряженных частиц. Прецизионные многослойные дрейфовые камеры с малым количеством вещества, имеющие пространственное разрешение ~ 70 мкм, и сверхпроводящие магниты позволяют определить импульсы частиц с точностью $\sim 1\%$, что обеспечит разрешение по эффективным массам $\sim 1\%$ в районе масс ρ - и ω - мезонов. За магнитным спектрометром расположены времяпролетные сцинтилляционные детекторы (TOF) и набор детекторов электромагнитных ливней (Shower), расположенных в полярном угле от 18 до 45 градусов. Они дают информацию о множественности рождения заряженных частиц и электрон-позитронных пар при взаимодействии пучка с мишенью, которая используется для выработки триггеров первого и второго уровней.

Времяпролетные детекторы с временным разрешением ≈ 150 пс позволят надежно идентифицировать регистрируемые частицы. Ливневый детектор [7] состоит из трех камер в каждом секторе, разделенных свинцовыми конверторами толщиной 1,1 см. Все камеры идентичны и работают в самогасящемся стримерном режиме на смеси $\text{Ag}-\text{iC}_4\text{H}_{10}-\text{C}_7\text{H}_{16}$ (66-33-1).

Эксперименты будут проводиться на ускорителе SIS (Дармштадт) с пучками различных ядер (до ^{238}U включительно). Расчетная скорость набора статистики за один день облучения установки (для $\text{Au} + \text{Au}$ взаимодействий при $T = 1$ ГэВ): 5000 событий с рождением ρ -мезона, 1000 — ω и 100 — ϕ . Создаваемая установка по своим параметрам не имеет аналогов в мире.

3. ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА СПЕКТРОМЕТРА

Для восстановления треков заряженных частиц используется магнитный спектрометр, состоящий из тороидального магнита и 4 систем дрейфовых камер в форме усеченной пирамиды. Магнит, смонтированный из 6 сверхпроводящих катушек толщиной 80 мм каждая, создает поле 0,7 Тл с плотностью тока 120 А/мм² на каждую катушку. Требуемое разрешение по импульсу может быть получено путем оптимизации как собственного пространственного разрешения дрейфовых камер трековой системы, так и ограничением многократного рассеяния, влияющего на траекторию электронов.

Полная чувствительная площадь всех четырех систем многопроволочных дрейфовых камер, предназначенная для регистрации электронов, а также и других заряженных частиц, составляет 24 м². Две системы размещены перед магнитом, а две другие — за ним. Каждая система состоит из 6 модулей. При этом боковые стороны прижимных рам каждого модуля располагаются в области тени от катушек магнита. Каждый модуль имеет форму трапеции. Для того чтобы реконструировать и подобрать пары двух частей треков каждой частицы с минимальной неоднозначностью, каждый модуль включает в себя 6 слоев с чувствительными и потенциальными проволоками, ориентированными под углами $-40, +20, 0, 0, -20, +40$ градусов по отношению к основанию трапеции (рис.2). Все катодные плоскости намотаны под углом 90° и разделяют анодные плоскости. Размер ячейки увеличивается от 5×5 мм² в камерах первой системы, ближайшей к мишени, до 14×10 мм² в камерах четвертой системы. Таким образом обеспечивается хорошая и однородная гранулярность вдоль всего спектрометра.

Ширина корпуса катушек сверхпроводящего магнита составляет всего 80 мм и определяет ширину боковых сторон дрейфовых камер. Это означает, что ширина боковых сторон камер для первой и второй систем равна 30 и 39 мм, соответственно. Рамы из стеклотекстолита, на которые намотаны проволоки, с такими размерами боковых сторон не способны компенсировать силы натяжения проволок. Прогиб боковых сторон приводит к уменьшению чувствительной площади камер. Использованы различные методы для компенсации этого прогиба. В модулях первой системы применены дополнительные рамки из нержавеющей стали, которые несут всю нагрузку от натяжения проволок. Для модулей второй системы боковые стороны рамок изготавливались криволинейными. Величина изгиба каждой стороны была рассчитана и проверена экспериментально. После переноса проволок на стеклотекстолитовую рамку величина прогиба боковой стороны не превышала 0,5 мм.

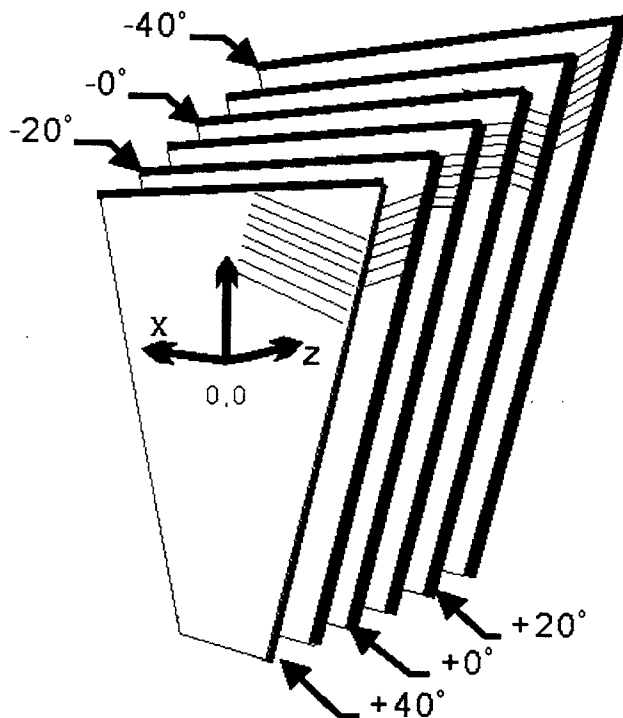


Рис. 2. Схематичный вид дрейфовой камеры, показывающий 6 чувствительных слоев. Вертикально намотанные катодные плоскости, разделяющие анодные плоскости, не показаны

Для того чтобы корректно восстановить импульс электрона и позитрона, необходимо принять во внимание многократное рассеяние вдоль всего спектрометра. Многократное рассеяние доминирует при импульсах ниже 0,4 ГэВ/с и может быть сведено к минимуму при использовании материалов с малой массой внутри камеры и наполнении гелием области магнитного поля между второй и третьей системами камер. Для анодных проволок используется 20 мкм золоченная проволока, для катодных и потенциальных — алюминиевая проволока диаметром 80 мкм (частично для модулей, находящихся за магнитом, будет использована 100 мкм алюминиевая проволока). Недостатком алюминиевой проволоки является ее текучесть. В течение первых нескольких недель натяжение алюминиевой проволоки падает на 15% и затем стабилизируется. Для входного окна применяется алюминизированный майлар толщиной 12 мкм. В качестве рабочего газа используется смесь гелий — изобутан. Вклад многократного рассеяния от различных материалов, присутствующих в активном объеме дрейфовой камеры, представлен на рис.3.

4. ПОЛНОМАСШТАБНЫЙ ПРОТОТИП ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ

С целью разработки технологии изготовления дрейфовых камер с малым количеством вещества в ЛВЭ ОИЯИ был создан полномасштабный прототип многопроволочной дрейфовой камеры (MDC-2) (рис.4) [8]. По своим размерам он полностью соответствует

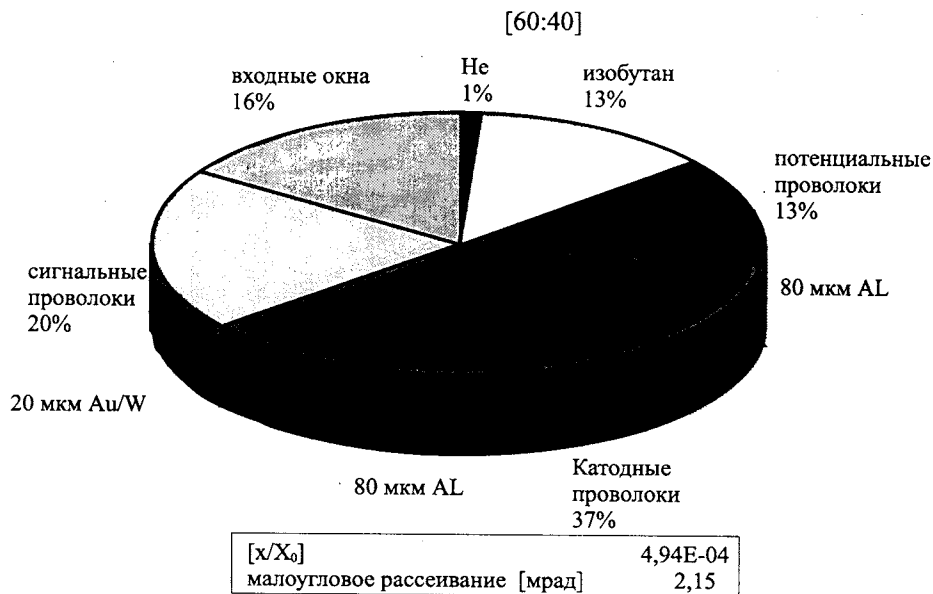


Рис. 3. Вклад многократного рассеяния от различных материалов, присутствующих в активном объеме дрейфовых камер

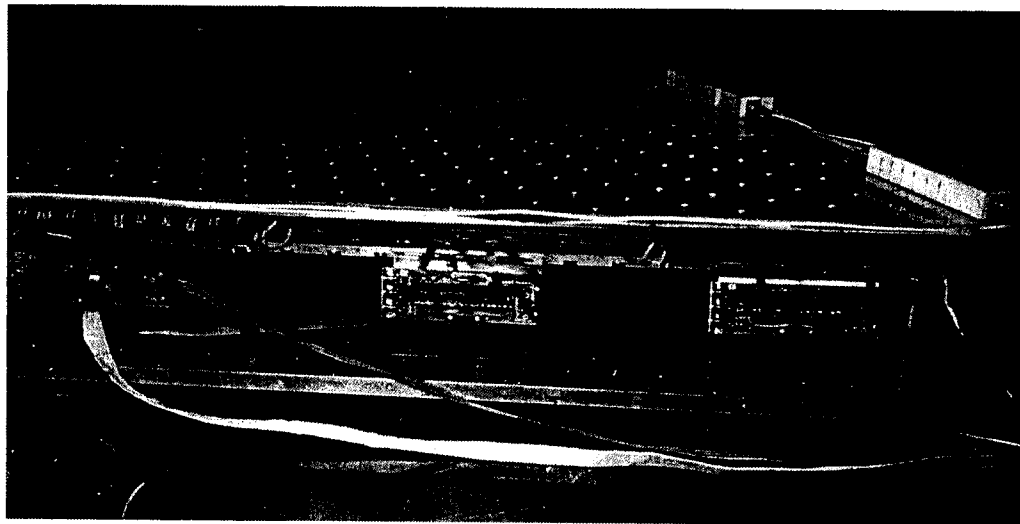


Рис. 4. Прототип дрейфовой камеры

размерам модуля второй системы и имеет трапециевидальную форму. Шесть чувствительных слоев, на которых анодные и потенциальные проволоки располагаются под углами $+40^\circ$, -20° , 0° , 0° , $+20^\circ$, -40° по отношению к основанию трапеции, разделены катодными плоскостями, намотанными под углом 90° . С целью повышения жесткости анодные и катодные плоскости склеены попарно и образуют "суперслой". Для сигнальных проволок применялась золоченная вольфрамовая проволока диаметром 30 мкм. Потенциальные и

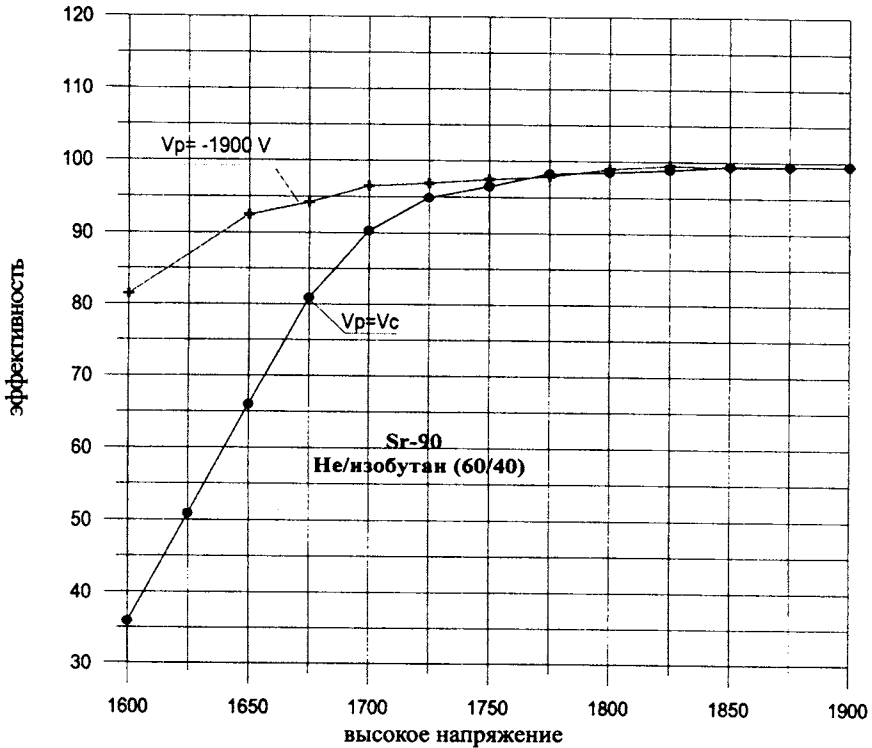


Рис. 5. Плато счетной характеристики при различных напряжениях на потенциальных проволоках

катодные проволоки намотаны 100 мкм алюминиевой проволокой. Размер дрейфовой ячейки $5 \times 6 \text{ мм}^2$.

Испытания прототипа были проведены как в лабораторных условиях с источниками ^{55}Fe и ^{90}Sr , так и на пучке 2,1 ГэВ/с протонов на синхротроне тяжелых ионов (SIS) в GSI. На рис.5 показано плато эффективности, измеренное с помощью коллимированного источника ^{90}Sr и сцинтиляционных счетчиков на газовой смеси гелий — изобутан. Повышенная концентрация изобутана увеличивает плато эффективности и улучшает временное разрешение детектора. Это обусловлено более высокой первичной ионизацией, которая возрастает с увеличением концентрации гасителя. Кроме того, при низкой концентрации гасителя плато эффективности сужается из-за большого количества ультрафиолетовых фотонов, образующихся в лавине при высоком коэффициенте усиления. Газовая смесь с соотношением 60% гелия и 40% изобутана была выбрана нами как наиболее оптимальная.

Разброс коэффициента усиления по всей площади детектора и для различных чувствительных слоев при облучении источником ^{55}Fe не превышал 8%.

С целью дальнейших испытаний прототип облучался 2,1 ГэВ/с протонным пучком на синхротроне тяжелых ионов в GSI. Два двухкоординатных микростриповых детектора [9], 300 мкм толщиной каждый, с 50 мкм шагом стрипов и чувствительной площадью $3,2 \times 3,2 \text{ см}^2$ были использованы в качестве внешнего трекера. Пространственное разрешение $< 80 \text{ мкм}$ (σ) было получено на более чем 80% дрейфовых ячеек (рис.6). Практически линейная корреляция достигается между временем дрейфа электронов и положением

трека. Скорость дрейфа составляет 4,2 см/мкс для газовой смеси He—iC₄H₁₀ (60% – 40%) при напряжениях на потенциальных и катодных проволоках выше 1,9 кВ. Измерения регулярности шага анодных проволок для различных сигнальных слоев показали, что смещение положения анодных проволок от расчетной величины не превышает 20 мкм.

Ожидаемый максимальный собираемый заряд для дрейфовых камер составит примерно 10 мКл на сантиметр чувствительной проволоки в год. Предполагается, что эксперимент будет продолжаться в течение 10 лет. Данная величина заряда хотя и является достаточно умеренной, требует осторожности в выборе материалов для конструкции рамок камер и эпоксидной смолы, чтобы предотвратить отравление рабочей смеси и уменьшить старение камер. Тесты по старению были выполнены на одном из макетов [8]. Измерения усиления делались путем периодической записи амплитуды сигнала в одной ячейке, которая постоянно облучалась источником ⁵⁵Fe в течение 40 дней. Очень незначительное старение камеры проявляется после того, как доза, полученная детектором, эквивалентна дозе, набранной в течение двух лет работы установки HADES.

5. ЭЛЕКТРОНИКА СЧИТЫВАНИЯ

Параллельно с созданием MDC-2 в ЛВЭ была проведена разработка аналоговой электроники считывания информации. Основные результаты получены при разработке первой 8-канальной версии усилителя-дискриминатора (УД) AD8 - H2 [10], изготовленной в ОП

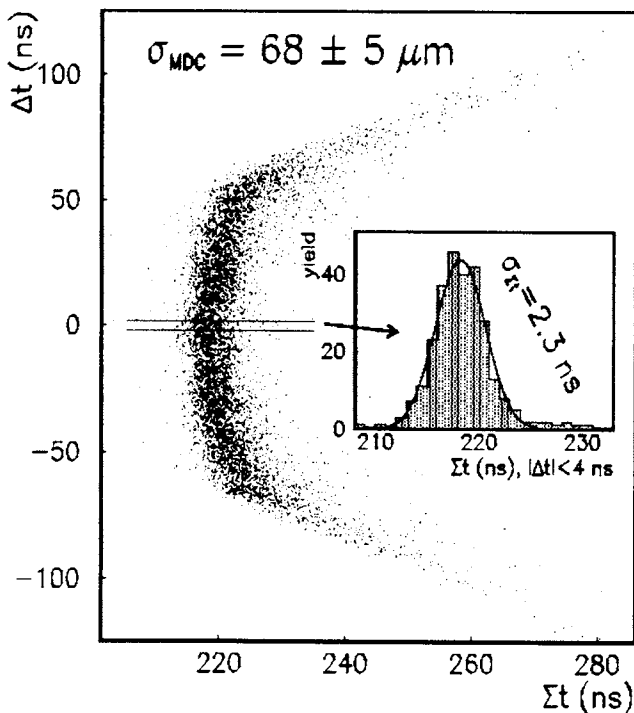


Рис. 6. Зависимость разности — времен дрейфа, измеренных в смежных ячейках для 2 ГэВ/с протонов, от их суммы. Внутри показана проекция при $\Delta t = 0$

ОИЯИ. С помощью этой электроники проведены первые испытания полномасштабного прототипа MDC-2 на пучке протонов в GSI [8]. Была показана возможность получения с применением этой электроники высокого (~ 70 мкм) пространственного разрешения и хорошей эффективности регистрации при использовании газовой смеси на основе гелия. Окончательный 16-канальный вариант электроники с более высокой степенью интеграции разработан и испытан совместно с GSI и отдан в массовое производство (~ 30 тыс. кан.). Часть модифицированных плат с возможностью мониторинга аналоговых сигналов и цифрового ИЛИ изготовлена в ОИЯИ. Платы УД (дочерние) размещаются на материнских, на которых расположена кодирующая электроника: 8-канальные микросхемы быстродействующих времяцифровых преобразователей TDC, а также аппаратура считывания цифровых данных, контроля и задания напряжения порогов для УД.

К характеристикам УД был предъявлен ряд жестких требований: малая потребляемая мощность (~ 30 мВт/кан.), малые шумы и хорошее быстродействие для обеспечения высокой точности (лучше 100 мкм), разрешение пары импульсов 50 — 100 нс. Проблема осложнялась требованием обеспечить высокую плотность размещения каналов ($\sim 2,5$ см²/кан.), несмотря на очевидность того, что канал должен быть достаточно сложным, т.к. требуемое разрешение пары импульсов может быть получено только с применением соответствующих шейперов и схем отсечки "ионного хвоста". Также понятно, что здесь предпочтительно использование биполярной технологии, чтобы обеспечить низкие шумы при малых временах формирования (передний фронт импульса на входе дискриминатора не должен превышать 10 нс). Но использование биполярной технологии в быстрых схемах сразу ставит вопрос о потребляемой мощности.

В качестве базового элемента нами была предложена и использована специализированная микросхема ASD8, разработанная в Пенсильванском университете [11]. Микросхема состоит из 8 одинаковых каналов, каждый из которых содержит быстрый малошумящий усилитель, схемы формирования коротких импульсов и дискриминатор. Эта микросхема отличается малой потребляемой мощностью и дифференциальной структурой всех звеньев канала. Последнее обстоятельство эффективно использовано для уменьшения наводок на вход со стороны выхода и со входных неэкранированных плоских каптоновых кабелей. Выходные токовые импульсы с ASD8 преобразуются в дифференциальный сигнал GTL с помощью сопротивлений нагрузки и опорного напряжения. Все 16 каналов используют одно и то же напряжение порога, поступающее с материнской платы. На входе и выходе УД используются современные многоконтактные миниатюрные разъемы для поверхностного монтажа.

Основные параметры УД следующие: размер многослойной платы 90×40 мм², число каналов — 16, потребляемая мощность — 30 мВт/кан., передний фронт сигнала с усилителя — 8 нс, собственные шумы — 1 фКл, разрешение пары импульсов с детектора — лучше 100 нс, напряжение питания — ± 3 В, опорное напряжение — + 1В.

6. ПРОГРАММЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Программы анализа данных для установки HADES создаются на языке программирования C++ на основе пакета ROOT (<http://root.cern.ch>). Обработку данных предполагается производить на ЭВМ типа IBM PC в операционной системе LINUX. Разработку программ ведут несколько групп физиков. Дубненская группа разрабатывает программы

поиска треков и восстановления параметров частиц и вершин событий, используя информацию с MDC. В настоящее время написана программа поиска кандидатов в треки для MDC, расположенных до магнита (внутренняя часть спектрометра).

Поскольку основная цель создания установки HADES — изучение центральных столкновений тяжелых ядер, установка будет работать в условиях относительно больших загрузок частицами (20—30 частиц на одну MDC). Это означает, что в каждой MDC из порядка $10^6 - 10^7$ комбинаций сработавших проволочек надо найти 20—30 истинных комбинаций, соответствующих реальным трекам. Для решения этой достаточно сложной задачи нами предложен и реализован быстрый алгоритм поиска кандидатов в треки в MDC центральной части спектрометра, позволяющий также определить, в первом приближении, геометрические параметры трека. При поиске кандидатов в треки время дрейфа не учитывается, что позволяет сделать предварительно большинство расчетов для всех событий. Алгоритм опробован на моделированных и пропущенных через программу GEANT событиях центральных $Au + Au$ -столкновений.

Алгоритм основан на двух свойствах установки. Это малые размеры мишени (около 2 см для мишени из золота) относительно расстояния до MDC (> 40 см) и приблизительно прямолинейные формы треков на участке от мишени до магнита. Основная идея алгоритма заключается в проецировании чувствительных объемов всех сработавших проволочек из MDC1 и MDC2 (12 плоскостей чувствительных проволочек в каждом секторе) на одну плоскость относительно мишени и последующем поиске на этой плоскости пиков, соответствующих пересечению сработавших проволочек для каждого трека.

Оценка этого алгоритма на моделированных событиях показала, что при загрузке 20—30 частиц на один модуль MDC программа позволяет найти все треки из мишени с хорошим качеством отбора сработавших проволочек (более 80% отобранных проволочек в пике принадлежат одному треку). Примесь ложных треков составляет не более нескольких процентов. Точность нахождения положения трека на плоскости проектирования примерно в пять раз лучше, чем размер чувствительной области сигнальной проволочки на плоскости проектирования ($\sigma = 1,1$ мм при расстоянии между чувствительными проволочками 6 мм).

Для оценки дальнейших шагов по разработке программ восстановления треков в MDC мы попробовали профитировать треки прямой линией (с учетом времени дрейфа), закладывая в фит как начальное приближение данные, полученные вышеописанным методом. В результате мы получили точность восстановления треков около 100—140 мкм, что соответствует расчетным значениям разрешения MDC спектрометра HADES.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана конструкция и создана многослойная дрейфовая камера для внутренней части трековой системы спектрометра HADES. Использование газовой смеси гелий—изобутан и алюминиевой проволоки позволяет уменьшить радиационную длину детектора, что особенно важно для восстановления треков частиц с малым импульсом. Увеличение концентрации изобутана несколько увеличивает многократное рассеяние, но при этом достигается значительно более устойчивый режим работы детектора.

Испытания детектора в лабораторных условиях с источниками ^{55}Fe и ^{90}Sr в ОИЯИ (Дубна) и на пучках 2,1 ГэВ/с протонов и ^{238}U SIS в GSI (Дармштадт) показали ста-

бильную работу детектора. Пространственное разрешение ~ 70 мкм получено на газовой смеси $\text{He}-i\text{C}_4\text{H}_{10}$.

В настоящее время изготовлены все модули дрейфовых камер внутренней части спектрометра и электроника считывания информации и начаты их испытания в составе спектрометра.

Авторы выражают благодарность академику А.М.Балдину за внимание и интерес к работе. Работа, представленная в этой статье, поддерживалась INTAS, Brussels (контракты 94-1233, 96-0468), а также Минатомом (Россия) и BMBF (Германия) в рамках программы DLR/WTZ 662-97.

Авторы благодарят также Ю.Г.Федулова, Н.П.Волкова, А.Е.Московского, Н.Н.Тиханчева и В.А.Белякова за участие в создании детекторов и электроники.

Литература

1. Porter R.J. et al. — Phys. Rev. Lett., 1997, v.79, p.1229.
2. Ullrich Th. et al. — Nucl.Phys., 1996, v.A610, p.317.
3. Drees A. — Nucl. Phys., 1996, v.A610, p.536.
4. GSI Scientific Report 1997, GSI 98-1, Darmstadt, 1998, p.196.
5. Schicker R. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1996, v.A380, p.586.
6. Gernhauser R. Et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1996, v.A371, p.300.
7. Salabura P. Et al. — Acta Phys.Pol., 1996, v.B27(1&2), p.421.
8. Garabatos C. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1998, v.A412, p.38.
9. Colledani C. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1996, v.A372, p.379.
10. Chernenko S.P. et al. — JINR, E13-97-60, Dubna, 1997.
11. Newcomer F.M. et al. — IEEE Trans. Nucl. Sci., 1993, v.NS - 40, No.4, part 1, p.630.