

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-2000-80

Л.Н.Глonti, Ю.В.Заневский, А.Г.Петров, Л.П.Смыков,
О.В.Фатеев, С.П.Черненко

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА
МНОГОСЛОЙНОЙ ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ
(MDC-2) ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА NADES

2000

1. ВВЕДЕНИЕ

В физической программе эксперимента HADES /1/ предлагается проведение исследований по изменению свойств легких векторных мезонов в горячем адронном веществе высокой плотности для изучения дилептонного континуума в столкновениях тяжелых ионов ниже ρ/ω - области. Ввиду того, что лептоны и фотоны слабо взаимодействуют с ядерной материей, изучение электромагнитных мод распада адронов должно дать важную информацию об изменениях горячей среды на всех стадиях взаимодействия ядро-ядро. Привлекательным в развитие этой программы будет исследование ρ/ω - интерференции и измерение электромагнитных формфакторов барионов и нейтральных мезонов через дилептонные и далитцевские распады, соответственно. Планируется серия экспериментов на выведенных и вторичных пучках ускорителя SIS в GSI (Дармштадт), включая пучки пионов и тяжелых ионов вплоть до урана. Для этой цели коллаборация HADES создает спектрометр высокого разрешения с большим акцептансом для регистрации дилептонных пар в столкновениях тяжелых ионов.

Основные компоненты детектора включают (рис.1) сферический черенковский детектор (RICH) для идентификации электронов; сверхпроводящий магнит тороидальной геометрии; многослойные дрейфовые камеры (MDC) для регистрации треков электронов до и после магнита и триггерную систему (META) с измерением времени пролета и детектированием электромагнитных ливней. Установка создается для регистрации центральных столкновений ядер Au+Au при энергии 1 ГэВ на нуклон и интенсивности 10^8 частиц/с. По оценкам, на установке HADES должно регистрироваться в сутки примерно 5000 событий с рождением ρ - мезонов, 1000 - ω и 100 - ϕ мезонов. В эксперименте будет применена высокоизбирательная многоуровневая схема триггера (фактор подавления порядка 10^6) для выделения событий в дилептонные кандидаты. Детектор будет иметь геометрический акцептанс почти 40% для диэлектронных пар и разрешение по массе около 1% (σ) в ρ/ω области.

Данная работа посвящена разработке и созданию полномасштабного прототипа трекового детектора MDC-2, расположенного внутри сверхпроводящего магнита спектрометра.

2. ТРЕБОВАНИЯ К MDC

Основные требования к трековым детекторам спектрометра HADES сводятся к следующему /1/:

1. Камеры должны регистрировать события со средней множественностью заряженных частиц около 180 (или 30 треков в одной камере).
2. Пространственное разрешение для одной камеры должно быть ≤ 0.1 мм.
3. Необходимо использовать в камерах материалы с большой радиационной длиной для минимизации многократного рассеяния электронов.
4. Мертвая зона камер определяется обмотками магнита и должна быть минимальной.

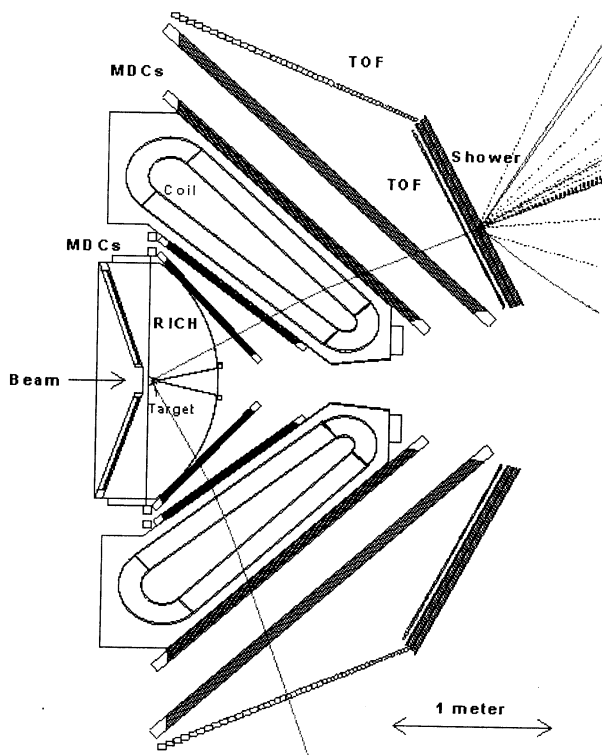


Рис.1.

Сечение установки HADES: RICH - черенковский детектор; MDC - минидрейфовые камеры для восстановления треков заряженных частиц до и после магнита; TOF - времяпролетные счетчики; Shower - детекторы, регистрирующие электромагнитные ливни; Coil - катушки сверхпроводящего магнита; Target - мишень

Эти требования легли в основу выбора планарных дрейфовых камер со структурой ячеек от 5 до 14 мм. Построение системы камер определяется гексагональной симметрией тороидального магнита установки HADES. Эта система содержит четыре независимых чашеобразных слоя детектора в виде шестигранной усеченной пирамиды с шестью секторами камер в каждом (рис.1). Каждый такой сектор расположен между двумя обмотками магнита и перекрывает 60° азимутального и от 18° до 85° полярного углов.

Два слоя детектора перед магнитом и два после магнита разнесены так, чтобы расстояния между ними были бы по возможности максимальными. Это позволяет независимо восстанавливать основные прямоугольные участки треков до и после магнитного поля [1].

С целью сведения к минимуму многократного рассеяния в качестве рабочей газовой смеси была выбрана смесь гелия (60%) и изобутана (40%) [2]. Для потенциальных и катодных проволок использовалась проволока из алюминиевого сплава $\varnothing 0,1$ мм, для анодов - вольфрам-рениевый сплав $\varnothing 0,025$ мм. Для входных окон выбрана майларовая пленка толщиной 0,012 мм. Полная радиационная длина для камер МДС-2 равна

$$x/X_0 = 4,9 \times 10^{-4},$$

что дает многократное рассеяние, равное 2,15 мрад (для электронов).

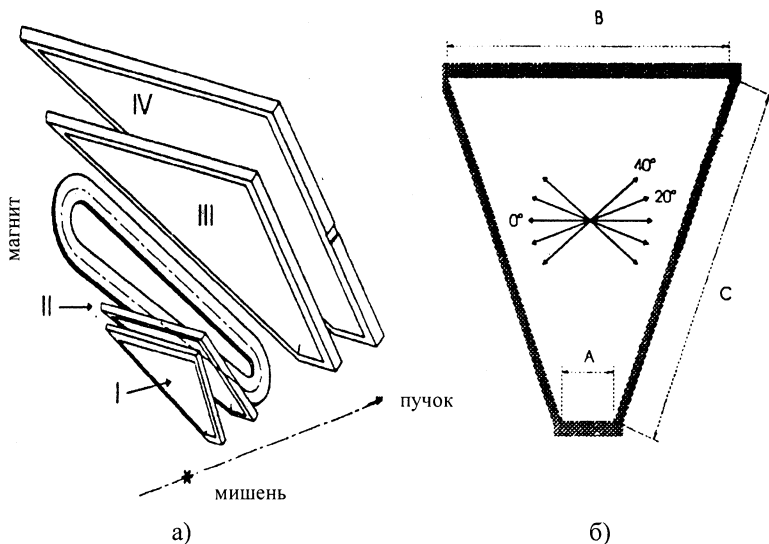


Рис.2.

- а) Схема взаиморасположения камер МДС и обмоток сверхпроводящего магнита. б) Схема направлений анодных проволок в каждой камере

Условие минимизации мертвой зоны камер, связанное с шириной катушек сверхпроводящего магнита, ограничивает боковые стороны камер до 40 мм. При этом несущая конструкция камеры не может обеспечить необходимую жесткость. Поэтому было предложено использовать предварительно напряженную конструкцию анодных и катодных рам [1/].

На рис.2а показано взаиморасположение камер и обмоток магнита, а на рис.2б - схема построения анодных плоскостей одной трапецидальной камеры. Каждая такая камера содержит шесть чувствительных плоскостей с наклоном анодных проволок относительно основания трапеции $\pm 0^\circ$, $\pm 20^\circ$ и $\pm 40^\circ$.

Таблица 1

Форма	Камера			Чаша
	трапеция			усеченная шестигранная пирамида
Размеры	A	B	C	
	205, 905, 1088 мм			
Толщина камеры	56 мм			
Количество анодных плоскостей	6			36
Количество катодных плоскостей	7			42
Шаг между сигнальными и потенциальными проволоками	3 мм			
Шаг катодных проволок	2 мм			
Размеры дрейфовой ячейки	5x6 мм ²			
Направление анодных проволок относительно основания трапеции	$\pm 0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 40^\circ$			
Направление катодных проволок	90°			
Состав газовой смеси	He(60%)+iC4H10(40%)			
Рабочее напряжение	≤ 2 кв			
Газовый объем	20 л			120 л
Количество каналов	$\pm 0^\circ$	2x172		
	$\pm 20^\circ$	2x193		
	$\pm 40^\circ$	2x191		
Всего каналов	1112			6672
Вес	26 кг			160 кг

Отметим, что при расположении проволок на плоскости “центральная” сигнальная проволока каждой анодной плоскости с отрицательным углом наклона и “центральная” потенциальная проволока плоскости с положительным углом наклона проходят через физический центр камеры, который определен как точка, на которую опускается перпендикуляр с точки расположения центра мишени.

В таблице 1 приведены основные параметры камер MDC-2.

3. КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ

На рис.3а показано расположение одного модуля MDC-2, а на рис.3б приведена схема расположения плоскостей камеры второй “чаши”. Модуль включает в себя всего 16 рам. Две внешние несущие дюралюминиевые рамы с майларовыми окнами толщиной 0,012 мм служат для сборки модуля, его герметизации и ввода и вывода рабочей газовой смеси. Шесть рам несут анодные и потенциальные проволоки. Рис.3б показывает порядок расположения анодных плоскостей с разными углами наклона.

Остальные семь рам используются в качестве катодных плоскостей. При этом каждая катодная плоскость, кроме крайних, является общей для двух соседних анодов. На всех катодных рамах проволоки натянуты под 90° относительно основания.

На рисунке 4 показаны сечения боковых сторон и основания камеры. Ширина узких сторон определяется шириной катушек сверхпроводящих магнитов, которая равна 80 мм. Ступенчатое строение узких боковых сторон позволяет увеличить чувствительную площадь камеры. Основания же трапеции не имеют ограничений по размерам, и они сделаны более массивными с целью увеличения жесткости конструкции.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАМЕР

4.1 Общий подход

Приведенные выше требования, предъявляемые экспериментом к камере, и описание конструкции указывают на сложность ее изготовления. Ввиду малой толщины рам (2,5 мм), при их достаточно больших габаритах, и общей нагрузке порядка 40 кг на каждую рамку все технологические операции, связанные с изготовлением анодных и катодных плоскостей, необходимо проводить при их фиксации на каком-либо жестком основании. При этом

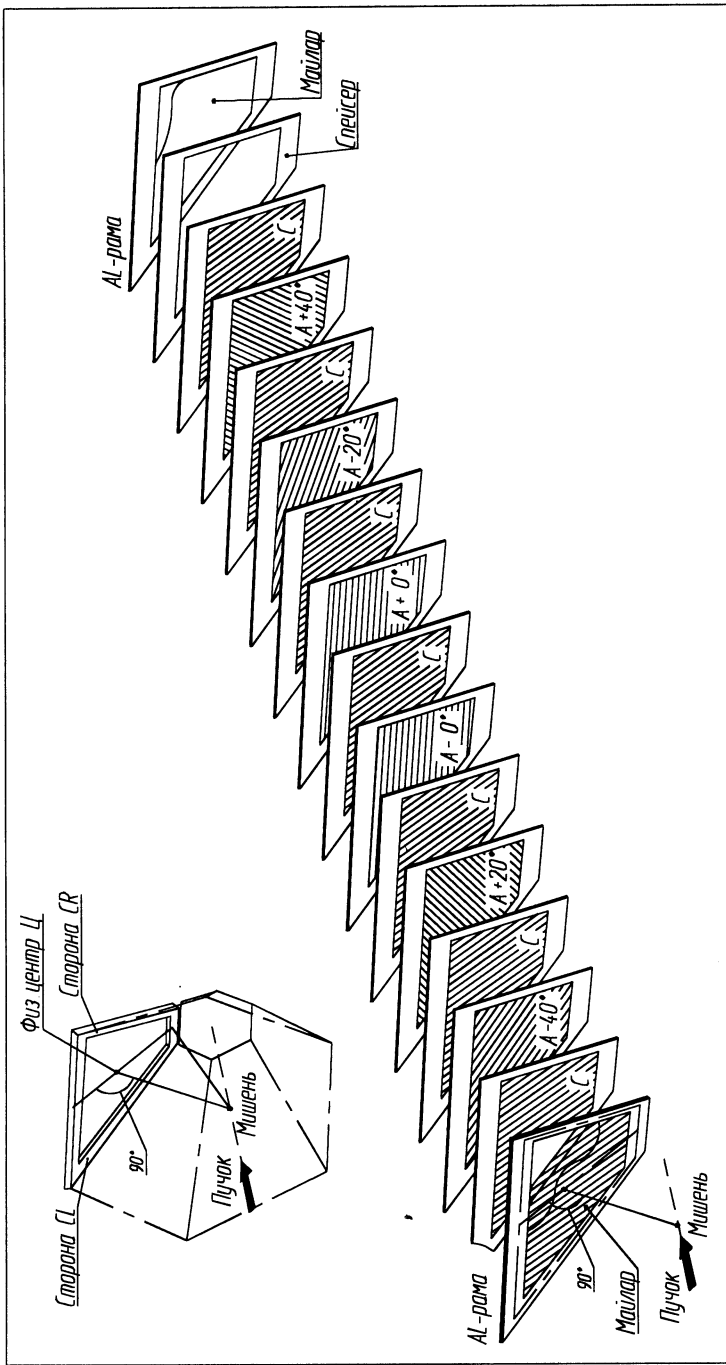


Рис.3.

- а) Расположение одного модуля камеры во второй чаше МДС.
- б) Схема расположения плоскостей в камере

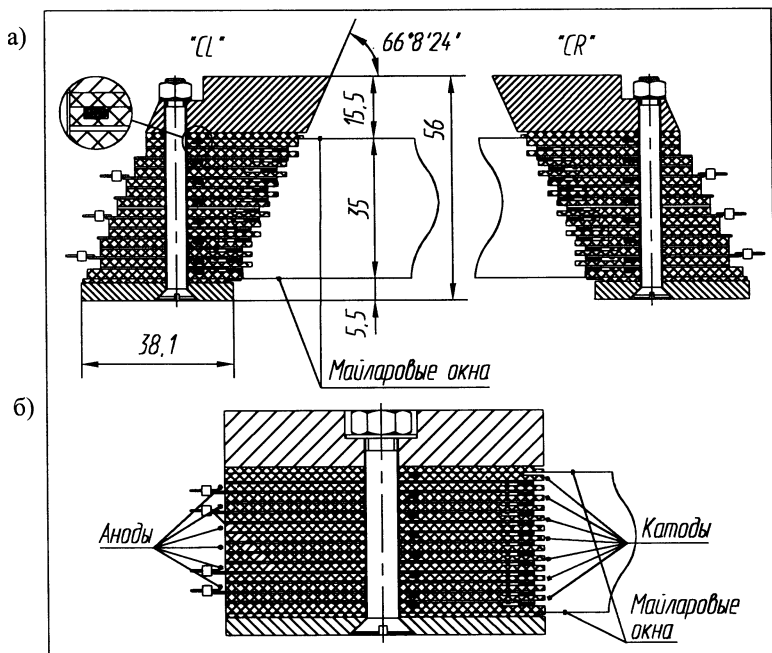


Рис.4.

а) Сечения боковых сторон камеры, б) сечение основания камеры

требуется выдержать все допуски, предъявляемые к размерам рам, а также точность переноса на них проволоки, а затем и их строгое расположение в камере после сборки. Для этих целей была создана технологическая рама.

Технологическая рама (рис.5) представляет собой жесткую конструкцию из 25 мм листового дюралюминия формы камеры. Она рассчитана так, что практически без деформации воспринимает любые нагрузки, возникающие в каждой отдельной или сдвоенной, напряженной или уже нагруженной проволоками, стезалитовой раме. На ней имеются впрессованные стальные втулки с точными отверстиями, соответствующие всем угловым базовым и

стяжным отверстиям камеры. Имеются также 5 пар маркерных отверстий, точно расположенных относительно базовых. Они служат для строгой установки “центральных” - юстировочных проволок всех шести направлений проволочных массивов на стезалитовых рамах. Для точной стыковки между собой двух рам во время предварительного напряжения, по углам расположены четыре отверстия, а по внутреннему и внешнему периметрам - набор отверстий для их стягивания. Это необходимо при операциях предварительного напряжения и сверления стезалитовых рам. Все точные отверстия на технологической раме расточены на координатно-расточном станке.

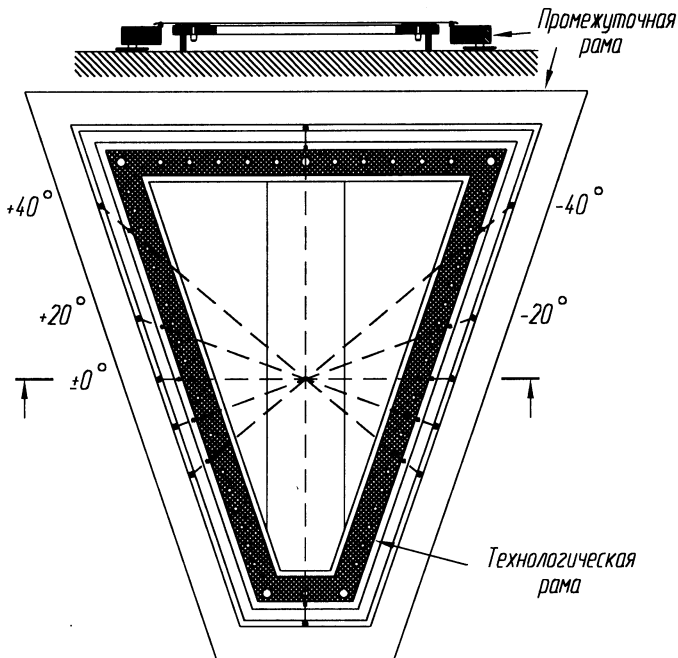


Рис.5.
Технологическая и промежуточная рамы

Процесс переноса намотанных плоскостей с намоточных рам выполняется в два этапа. Для этого были изготовлены две промежуточные рамы, которые позволяют уменьшить расход проволоки и упростить работы по позиционированию и фиксации проволок на стезалитовых рамках камеры.

Промежуточная рама также имела жесткую конструкцию для того, чтобы не вносить свою погрешность при работе с проволокой. Она была изготовлена из стали, полностью повторяла форму стезалитовых рам и могла вместить их внутри себя вместе с технологической рамой. По внутреннему периметру она имела приваренный стальной пояс, шириной и высотой 10 мм, на котором переносимые проволоки фиксировались клеем. Поверхность пояса была обработана и имела хорошую плоскостность. На этом поясе находились 12 неглубоких отверстий диаметром 1,5 мм, центры которых попарно с хорошей точностью соответствовали всем необходимым направлениям “центральных” анодных и катодных проволок. По центрам этих отверстий выставлялись “центральные” проволоки при переносе массива проволок с одной рамы на другую. Рама имела четыре ножки для плавной регулировки высоты.

4.2. Изготовление анодных и катодных рам

Заготовки для их склеивания представляют собой четыре полосы толщиной 2 мм и электрод, составленный из нескольких кусков печатных плат (анодных или катодных) толщиной 0,5 мм, которые наклеиваются на основание. Склейка осуществлялась на ровном металлическом столе в два этапа. Для получения идентичности рам на столе были расположены гнезда, повторяющие внутренние размеры самой малой рамы. Вначале в гнездах склеивалось основание самой малой рамы. Полосы следующей большей по размерам рамы при склейке отделялись от гнезд точными металлическими проставками.

Перед наклейкой электродов в них с помощью кондуктора под микроскопом рассверливались стыковочные отверстия. Ответные отверстия на основании рассверливались через отверстия в технологических рамах. По этим отверстиям электроды состыковывались с основанием. После склейки стезалитовых рам в них рассверливались отверстия. Перед сверлением отверстий стезалитовые рамки напрягались с усилием, равным суммарному натяжению проволок.

4.3. Намотка и перенос проволочных плоскостей

Для создания анодных и катодных плоскостей проволоки вначале наматывались на две прямоугольные намоточные рамы на намоточном станке вращательного типа. Средняя величина натяжения была 50 ± 2 г, для анодных проволок и 110 ± 4 г для потенциальных и катодных проволок. Измерение натяжения проводилось тензометром типа NE-660 с выводом данных и их последующей обработкой на РС-386. Контроль натяжения проволок проводился на намоточных рамах сразу после намотки, затем на промежуточных рамах, а также непосредственно на стезалитовых рамах после переноса и фиксации на

них проволоки. На рис. 6 приведен пример типичной зависимости натяжения проволоки от ее номера.

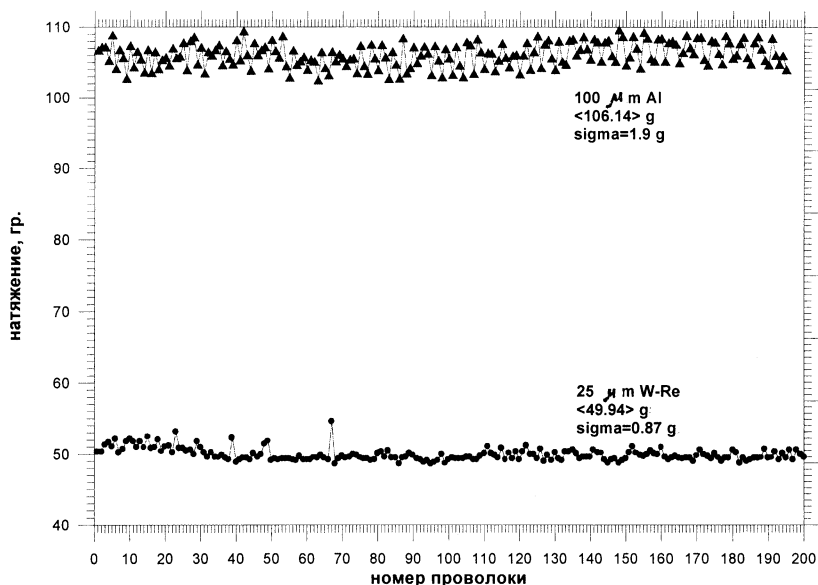


Рис.6.
Распределение натяжения анодных и катодных проволок

Анодные плоскости изготавливались в два этапа: вначале, на двух намоточных рамах одновременно, наматывались анодные проволоки с шагом 6 мм, а затем между ними с таким же шагом, но со сдвигом на 3 мм наматывались потенциальные проволоки. После намотки они фиксировались на рамах клеем. После отверждения клея проволоки обрезались, проводилось измерение натяжения проволок, и проволочный массив переносился на промежуточные рамы.

Операция переноса проволок проводилась на прямоугольном металлическом столе, на котором намоточная рама устанавливалась всегда в одном и том же положении, а промежуточная рама под ней каждый раз занимала положение, соответствующее углу данного переноса. Все шесть рабочих

положений промежуточной рамы для каждого угла наклона проволоки были размечены на столе (рис.7).

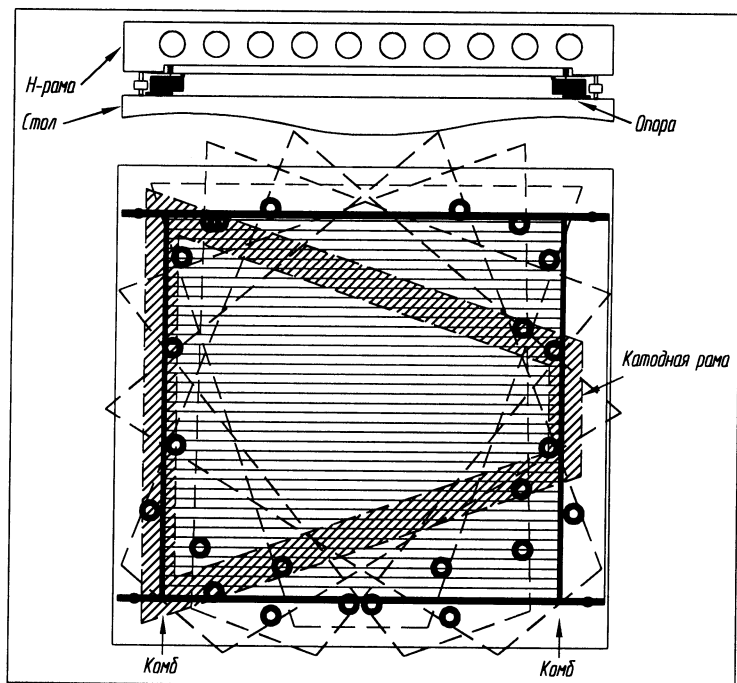


Рис. 7.
Взаиморасположение намоточной и промежуточной рам
для разных углов переноса

Перенос проволочного массива с намоточной рамы на промежуточную раму осуществлялся под заданным углом и со строго выдержанным шагом между проволоками. Точность шага проволоки достигалась применением калибровочных линеек пальцевого типа (рис.8), имеющих точность шага 10 мкм (σ). При изготовлении линеек была учтена разница в диаметрах анодной и потенциальной проволоки.

Перенос проволоки проводится на уже рассверленную стезалитовую раму, закрепленную по базовым и стяжным отверстиям на технологической раме. Эта операция осуществляется на столе, поверхность которого имеет форму и размеры промежуточных рам, что облегчает доступ к проволочному массиву со всех сторон. В местах расположения регулировочных ножек обеих рам стол

снабжен шлифованными пластинами, на которых рамы легко перемещаются друг относительно друга в горизонтальном направлении.

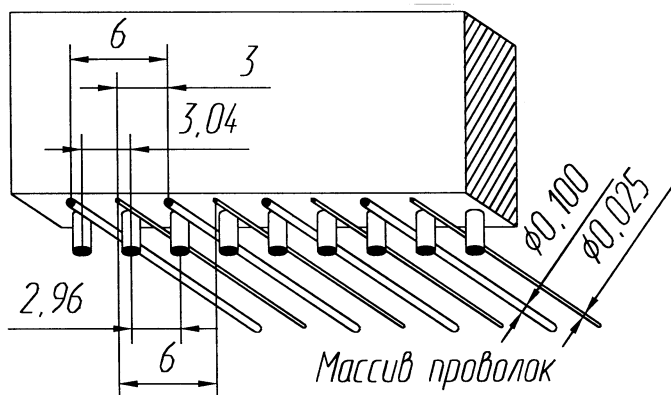


Рис.8.

Калибровочная линейка пальцевого типа

При переносе проволочной плоскости на стезалитовую раму точное совмещение каждого данного угла наклона проволоки осуществляется при помощи двух высокоточных грибков, расположенных в точных отверстиях технологических рам, соответствующих данному углу. Грибки располагаются по линии "центральной" проволоки для каждого угла вне пределов стезалитовых рам примерно на 0,03 мм ниже их поверхности и имеют в центре "точку" диаметром 0,1 мм. "Центральная" проволока переносимой плоскости совмещается с "точками" в центрах маркерных грибков с двух сторон при помощи микроскопов. Эта процедура позволяет выдержать расположение проволочного массива на стезалитовых рамах с точностью 0,03 мм. Следующий этап - фиксация проволоки на раме при помощи клея и их соединение с выводами.

По завершении фиксации проволоки проводится контрольное измерение натяжения проволоки, измерение сопротивления контакта проволоки с общей шиной и измерение токов утечки под высоким напряжением.

5. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

5.1. Электроника съема информации

Параллельно с созданием прототипа MDC-2 в ЛВЭ ОИЯИ была проведена разработка аналоговой электроники считывания AD8-H2. Первые результаты испытаний прототипа были получены с помощью восьмиканальной версии усилителя-дискриминатора (УД), изготовленной в ОП ОИЯИ /3/.

К характеристикам УД были предъявлены ряд жестких и противоречивых требований: малые шумы и быстродействие, необходимое для получения высокой пространственной точности, хорошее разрешение пары импульсов, малая потребляемая мощность, обеспечение высокой плотности размещения каналов.

В качестве базового элемента электроники считывания была применена специализированная микросхема ASD8, разработанная в Пенсильванском университете /4/ с использованием биполярной технологии. Микросхема состоит из восьми одинаковых каналов, каждый из которых содержит быстрый малощумящий усилитель, схемы формирования коротких импульсов и дискриминатор. Она имеет дифференциальную структуру всех звеньев канала. Это уменьшает наводки на вход канала со стороны выхода и от входных плоских неэкранированных каптоновых кабелей. Выходные токовые импульсы с микросхемы преобразуются в дифференциальный сигнал GTL ($\pm 0,6$ в) с помощью сопротивлений нагрузки и опорного напряжения. Все каналы используют одно и то же напряжение порога. На входе и выходе УД используются современные миниатюрные многоканальные разъемы для поверхностного монтажа.

Основные параметры УД: передний фронт сигнала с усилителя - 6-8 нсек, собственные шумы - 1fC , разрешение двух соседних импульсов с детектора лучше 100 нсек, напряжения питания - ± 3 В, опорное напряжение - 1 В, потребляемая мощность - 30 мВт/кан. Платы УД размещаются на материнских платах, где расположены также и схемы для задания порогов и контроля.

Кодирующая цифровая электроника была разработана в GSI. Время дрейфа оцифровывается на базе специализированных восьмиканальных микросхем - быстродействующих время-цифровых преобразователей TDC. Минимальный шаг квантования $1/4$ нсек, код двоичных разрядов TDC - 11. Они расположены непосредственно у камер, на материнских платах. Там же осуществляется подавление нулевой информации. Затем информация передается в буферную память, расположенную вблизи камеры в крейте VME, где находятся и схемы для считывания цифровых данных. Здесь информация

обрабатывается для обеспечения дальнейшего быстрого трекового анализа и передачи.

5.2. Результаты испытаний

При исследованиях модели дрейфовой камеры /2/ было показано, что с точки зрения временного и пространственного разрешения, а также для увеличения плато эффективности наиболее оптимальным является соотношение компонентов газовой смеси He(60%) и iC_4H_{10} (40%) /2/. На рис.9 приведены результаты измерений, подтверждающие вышесказанное. Одновременно с этим такое соотношение обеспечивает необходимую первичную ионизацию.

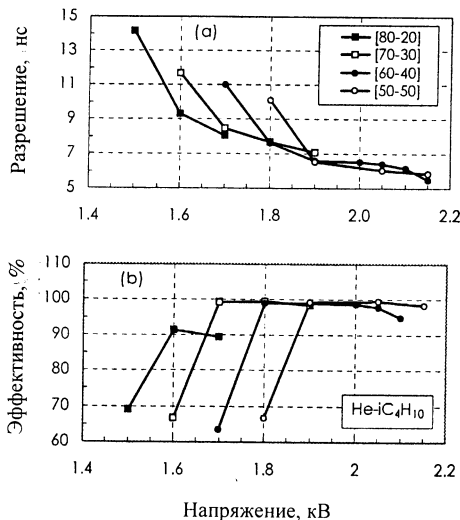


Рис.9.

а) Временное разрешение и б) эффективность как функции зависимости от высоковольтного напряжения при разных концентрациях изобутана в гелии /2/

При тестовых испытаниях полномасштабного прототипа в Дубне была показана возможность получения высокого пространственного разрешения и хорошей эффективности. Испытания были проведены в лабораторных условиях с радиоактивными источниками ^{55}Fe и ^{90}Sr /5/. На рис.10 приведена кривая эффективности, измеренная при облучении камеры коллимированным источником ^{90}Sr . Разброс коэффициента усиления по всей площади камеры для всех анодных плоскостей при облучении источником ^{55}Fe не превышает 8%.

Затем испытания были продолжены на протонном пучке ускорителя тяжелых ионов GSI с энергией протонов 2,1 ГэВ/с в Дармштадте /2/. В качестве внешнего трека были использованы два микростриповых двухкоординатных детектора с чувствительной площадью 3,2х3,2 см² и с шагом стрипов 0,05 мм /6/. При этом на более чем 80% дрейфовых ячеек пространственное разрешение было получено 70 мкм (σ) для отдельной анодной плоскости. Между временем дрейфа электронов и положением трека достигается практически линейная зависимость. Измерения регулярности шага анодных проволок показали, что их смещение от геометрического положения для различных анодных плоскостей не превышает 20 мкм.

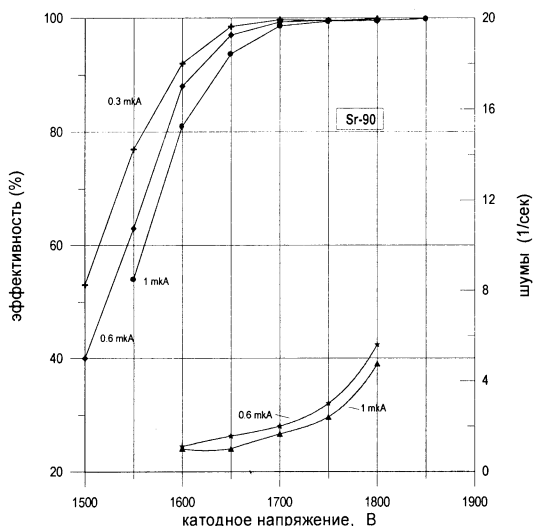


Рис.10.

Кривая эффективности регистрации, полученная с источником ⁹⁰Sr

Измеренное при помощи внешнего трека пространственное разрешение как функция дрейфового расстояния приведено на рис.11.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и создан полномасштабный прототип многослойной дрейфовой камеры с малым количеством вещества для внутренней части

спектрометра HADES (MDC-2). При этом были решены многочисленные конструкционные и технологические проблемы, обусловленные жесткими требованиями, предъявляемыми к камере условиями эксперимента.

Был разработан и опробован на прототипе полный технологический цикл по изготовлению камер. Создано технологическое оборудование, которое в дальнейшем с некоторыми изменениями использовалось при массовом изготовлении камер.

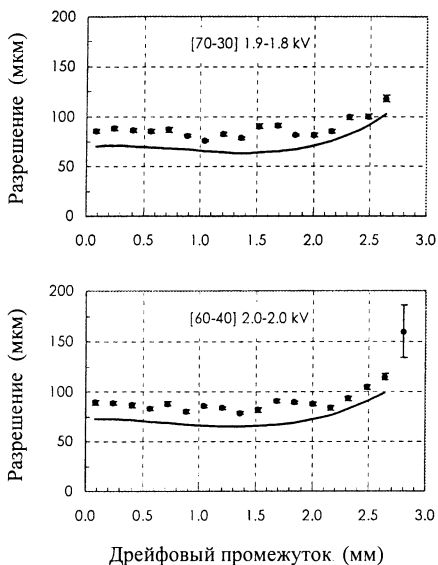


Рис.11.

Пространственное разрешение, как функция длины дрейфового промежутка. Кривые рассчитаны с учетом вклада многократного рассеяния для протонов в 50 см воздуха /2/

Следует подчеркнуть, что все работы по разработке камеры проводились с помощью программ Finite Element Calculations, которые использовались при расчете и моделировании предварительно напряженных рам, выборе формы и жесткости всех технологических рам и их оптимальной увязке друг с другом.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Белякову В.А., Волкову Н.П., Московскому А.Е., Тиханчову Н.Н., Федулову Ю.Г. за большую помощь в работе. Авторы также благодарны коллегам из GSI J.Stroth, H.Stelzer, C.Garabatos, H.Bokemeyer, W. Koenig за помощь в работе.

Авторы глубоко признательны проф. Балдину А.М. и проф. Малахову А.И. за постоянный интерес и поддержку в работе.

Работа была поддержана грантами INTAS (94-1233, 96-0468), DLR (WTZ) и ОИЯИ/ВМБФ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Proposal For High Acceptance Di-Electron Spectrometer, GSI, 1994., R.Shiker et al. - Nucl.Instr.and Meth. A380(1996) 586-596.
2. C. Garabatos et al. - Nucl. Instr. and Meth., A412(1998) 38-46.
3. S.P. Chernenko et al. – Preprint JINR, E13-97-60, Dubna, 1997
4. F.M.Newcomer et al. - IEEE Trans.Nucl.Sci.,NS-40, N4, part 1 (1993) 630-636.
5. С.П. Черненко, О.В. Фатеев, Ю.В. Заневский и др. - Краткие сообщения ОИЯИ, N5,1999.
6. C.Colledani et al. - Nucl.Instr. and Meth., A372 (1996) 379.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 2000 года.

Глonti Л.Н. и др.

P13-2000-80

Разработка и создание прототипа многослойной дрейфовой камеры (MDC-2) для спектрометра HADES

Работа посвящена созданию полномасштабного прототипа многослойной дрейфовой камеры внутренней части спектрометра HADES. Приведены требования, предъявляемые экспериментом к детектору. Описываются параметры камеры и особенности ее конструкции. Кратко описан полный цикл создания камеры. Излагаются методы, при помощи которых успешно решены проблемы, вызванные особенностью конструкции. Описано основное технологическое оборудование, разработанное для изготовления прототипа.

Часть работы посвящена результатам стендовых испытаний, проведенных с радиоактивными источниками и на ускорителе SIS в GSI (Дармштадт), которые показали, что камера имеет пространственное разрешение ~ 70 мкм (σ), а эффективность $\sim 99\%$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Glonty L.N. et al.

P13-2000-80

Development and Construction of a Multilayer Drift Chamber Prototype (MDC-2) for the HADES Spectrometer

This paper is devoted to the construction of a full-scale multi-layer drift chamber prototype for an inner part of the HADES spectrometer. Requirements of experiment to the detector are presented. The parameters of the chamber and its design features are described. The full technology process of chamber construction which allowed one to solve the problems specified by the design features are presented. The main production equipment developed for prototype construction is described.

Part of the paper is dedicated to the results obtained with radioactive sources and on the SIS beam at GSI (Darmstadt). These results have shown that the spatial resolution of the chamber is ~ 70 μm and its efficiency $\sim 99\%$.

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

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

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 19.04.2000

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 1,62
Тираж 320. Заказ 51992. Цена 1 р. 95 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области