

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

13-90-403

**ЗИНЧЕНКО**  
Александр Иванович

УДК 539.1.074.2.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПРОВОЛОЧНЫХ ДЕТЕКТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ  
В АДРОННОМ КАЛОРИМЕТРЕ УСТАНОВКИ ДЕЛФИ  
И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРЕКОВОЙ СИСТЕМЕ  
УСТАНОВКИ НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ УНК**

**Специальность: 01.04.01 - техника физического  
эксперимента, физика приборов,  
автоматизация физических исследований**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

ТЯПКИН  
Игорь Алексеевич

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук,  
профессор

ЗАНЕВСКИЙ  
Юрий Вацлавович

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

ПАТАРАКИН  
Олег Октябревич

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт физики высоких энергий,

г. Протвино

Защита диссертации состоится "\_\_\_\_\_" 1990 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании Специализированного Совета  
Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного  
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.  
Автореферат разослан "\_\_\_\_\_" 1990 г.

Ученый секретарь  
Специализированного Совета

 М.Ф. ЛИХАЧЕВ

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность. Ускорительно - накопительные комплексы встречных пучков, позволяющие проводить исследования в области больших масс элементарных частиц, являются неотъемлемой частью современной физики высоких энергий. Качественные и своевременные физические результаты в экспериментах на коллайдерах могут быть получены только при условии создания высокоэффективных и надежных экспериментальных установок. Это, в свою очередь, требует проведения длительных и тщательных методических исследований различных типов детекторов, входящих в состав установки - в частности, проволочных детекторов.

Цель работы - исследование характеристик проволочных детекторов для установки ДЕЛФИ (ЛЭП, ЦЕРН) и установки на встречных пучках Ускорительно - накопительного комплекса УНК (ИФВЭ, Протвино).

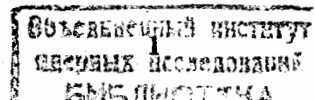
Научная новизна. Проведены исследования нового типа проволочных детекторов - пластиковых трубок с резистивным катодом, позволившие изучить особенности их работы, выработать методы повышения их надежности и стабильности.

На основе полученных экспериментальных данных и результатов математического моделирования подробно исследованы характеристики, определяющие основные особенности калориметрии, использующей в качестве активных элементов пластиковые трубки.

Создан пакет программ для моделирования работы дрейфовых камер, детально учитывающий влияние происходящих в детекторе физических процессов на его основные характеристики. С помощью этой программы проведено моделирование работы центральной дрейфовой камеры установки на встречных пучках УНК.

Практическая и научная ценность. Приведенные в диссертации результаты по изучению характеристик пластиковых детекторов с резистивным катодом в немалой степени способствовали успешному запуску адронного калориметра установки ДЕЛФИ. Полученные данные могут быть применены при создании экспериментальных установок, использующих аналогичный тип детекторов.

Результаты, полученные с помощью разработанного пакета моделирующих программ TSS (Track System Simulation), позволяют оценить предельные характеристики, достижимые в цилиндрических дрейфовых камерах с большими дрейфовыми промежутками. Данный



программный пакет может быть использован для моделирования дрейфовых камер в установках физики высоких энергий.

Апробация работы. Результаты, положенные в основу диссертации, докладывались на научных семинарах ЛВЭ ОИЯИ, на рабочих совещаниях коллабораций ДЕЛФИ и УНД и опубликованы в 6 научных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и изложена на 105 страницах. В ней содержится 78 рисунков и список цитируемой литературы из 95 наименований.

Автор защищает.

1. Результаты исследований характеристик пластиковых трубок с резистивным катодом.

2. Метод повышения надежности и стабильности работы таких детекторов.

3. Результаты исследования характеристик прототипа адронного калориметра ДЕЛФИ, оснащенного пластиковыми трубками, на пучке синхрофазотрона ОИЯИ.

4. Данные по изучению особенностей работы полномасштабного модуля адронного калориметра ДЕЛФИ.

5. Результаты исследования с помощью математического моделирования факторов, влияющих на энергетическое разрешение адронного калориметра ДЕЛФИ.

6. Пакет программ для моделирования дрейфовых камер и результаты моделирования работы центральной дрейфовой камеры установки на встречных пучках УНД.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении рассматривается роль калориметрии в современной экспериментальной физике высоких энергий. Описываются преимущества и недостатки различных способов считывания информации с калориметров. Приводится краткое описание установки ДЕЛФИ и ее адронного калориметра (АК). Дан обзор имеющихся данных по применению пластиковых трубок с резистивным катодом в физике высоких энергий. Обсуждаются также причины, способствующие повышению роли трековых детекторов (в частности, дрейфовых камер) в установках на встречных пучках.

В первой главе представлены результаты стендовых испытаний

пластиковых трубок<sup>1/1</sup>, которые характеризуют особенности работы детекторов в различных режимах. Исследования показывают, что основной причиной нестабильности данного типа детекторов при их работе в сильноточном (самогасящемся стримерном (СГС)) режиме является возникновение самостоятельного разряда – так называемого темного тока. Развитие этого процесса приводит к потере работоспособности детектора. Для описания закономерностей наблюдаемого явления был предложен механизм, известный под названием "Мальтер – эффекта". Суть его состоит в развитии процесса эмиссии электронов из катода при накоплении заряда на пленках диэлектрика или неоднородностях графитового слоя. Данный механизм предполагает, что для возникновения самостоятельного разряда существенны такие характеристики, как эффективная константа растекания заряда по поверхности катода (в частности, сопротивление резистивного слоя) и величина тока через детектор (или его загрузка). Это иллюстрирует рис.1, где представлена зависимость времени до возникновения самостоятельного разряда от загрузки детектора и результат фитирования экспериментальных данных выражением, описывающим процесс накопления заряда. Выяснение механизма появления самостоятельного разряда способствовало выработке рекомендаций по увеличению надежности детекторов за счет снижения резистивности графитового слоя.

Проведение стендовых испытаний детекторов дало возможность отработать технологию массового изготовления и тестирования пластиковых трубок. В частности, в диссертации представлены результаты исследований влияния на характеристики детекторов различных геометрических неточностей, неизбежных при массовой сборке трубок. В процессе испытаний первой партии детекторов, изготовленных на участке массового производства, было обнаружено, что доля трубок, выдерживающих длительную загрузку при работе в сильноточных режимах, невелика. Выяснение этого факта свидетельствовало о том, что неизбежные при массовом производстве дефекты изготовления резистивного слоя будут приводить к отказам большого числа детекторов. Для существенного повышения надежности работы трубок было предложено уменьшить коэффициент газового усиления до величины, соответствующей области насыщенного пропорционального режима, (примерно на порядок) и использовать более чувствительную электронику. Реализуемость этого предложения

вызывала некоторые сомнения из-за возможного ухудшения энергетического разрешения за счет увеличения флуктуаций сигналов в пропорциональном режиме. Эта проблема была исследована в процессе испытаний однометрового прототипа адронного калориметра ДЕЛФИ на пучке синхрофазотрона ОИЯИ<sup>2/</sup>. Полученные результаты приведены во второй главе.

Геометрия прототипа АК была выбрана так, чтобы обеспечить такие же условия для развития адронного ливня, как и в реальном калориметре, т.е. длина прототипа по пучку и продольная сегментация соответствовали планируемым. В качестве радиатора использовались железные пластины толщиной 5 см. Общее количество вещества в АК по пучку составляло около 6 ядерных длин (20 железных пластин). Поперечные размеры ( $l \times l$  м<sup>2</sup>) значительно превышали ширину ливня. Съем сигнала в прототипе АК осуществлялся с помощью считывающих электродов, разделенных на 16 площадок размером 25x25 см<sup>2</sup>. Как и в реальном АК ДЕЛФИ, пять последовательных по глубине площадок, объединенных в башню, регистрировались одним каналом электроники. 16 соседних расположенных в одной плоскости башен составляли супербашню. Весь прототип состоял из одной гипербашни (4 последовательных по глубине супербашни). Такая структура соответствовала принятой в ДЕЛФИ. Для получения более подробной информации о картине продольного развития ливня в эксперименте регистрировались сигналы и с плоскостей детекторов.

На рис.2 представлены данные по энергетическому разрешению прототипа АК для протонов с импульсом 6 ГэВ/с. Видно, что в широком диапазоне значений анодного напряжения разрешение калориметра практически не меняется. В то же время величина сигнала отклика может быть уменьшена на порядок.

Для получения наилучших характеристик установки требуется тщательная калибровка электронных трактов калориметра как при подготовке его к пуску, так и в процессе проведения экспериментов. Это может быть сделано, например, с помощью контроля положения ионизационного пика в спектре энергетических потерь невзаимодействующих адронов. В диссертации рассмотрены два возможных алгоритма отбора таких частиц и показано, что они дают близкие результаты.

Ряд важных характеристик адронного калориметра - как,

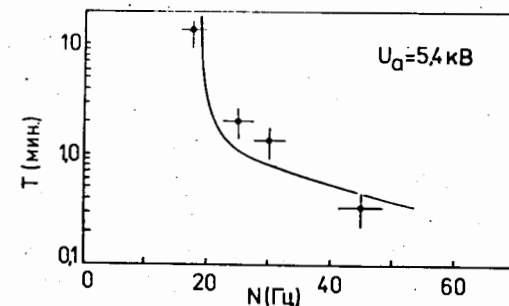


Рис.1. Зависимость промежутков времени до появления темнового тока от загрузки детектора. Кривая - результат фитирования выражением, описывающим процесс накопления заряда.

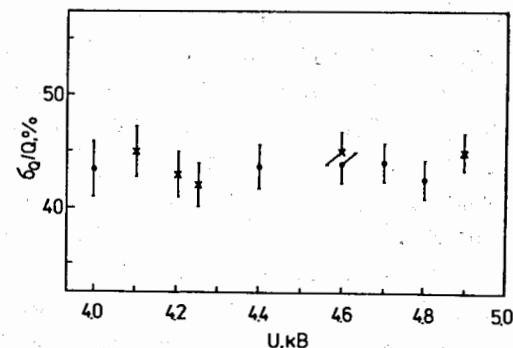


Рис.2. Зависимость энергетического разрешения прибора от напряжения: точки - сигнал с плоскостей детекторов, крестики - сигнал с башен.

например, отношение сигнал-шум и некоторые другие – может быть исследован только в установке, максимально совпадающей с реальной по размерам, способам съема информации, составу электроники. Для изучения этих вопросов (им посвящена третья глава)<sup>/3/</sup> была собрана полномасштабная модель модуля адронного калориметра, конструкция которой повторяла модули цилиндрической части калориметра ДЕЛФИ. Модуль был оснащен стандартными детекторами ДЕЛФИ, изготовленными и прошедшими тестовую процедуру на участке массового производства в ОИЯИ. Съём сигнала осуществлялся с помощью считывающих электродов, повторяющих по конструкции используемые в реальном АК. Схема разводки сигнальных трактов соответствовала принятой в ДЕЛФИ. В эксперименте использовалась стандартная электроника, предназначенная для АК ДЕЛФИ, но ее чувствительность была повышена за счет использования предусилителей, разработанных в ЛВЭ ОИЯИ.

Исследования отношения сигнал – шум проводились при анодном напряжении, соответствующем области насыщенного пропорционального режима и обеспечивающем получение наиболее вероятного сигнала со считывающей площадки от космического мюона I п.к.л. На рис.3 представлены распределения нулевых отсчетов (пьедастал) и спектры сигналов от мюонов для супербашни. Для шумов стандартное отклонение не превышает 0,5 п.к.л. Из рисунка видно, что сигнал достаточно хорошо отделяется от пьедастала.

Одной из важных функций, выполняемых адронным калориметром ДЕЛФИ, является выработка мюонного запуска установки. Проведенные на полномасштабной модели модуля АК исследования позволили выявить основные факторы, влияющие на эффективность мюонного триггера. Кроме того, были изучены процессы, дающие вклад в случайный запуск. В диссертации приведены результаты исследований различных схем выработки мюонного триггера, свидетельствующие о том, что соответствующим подбором значений порогов срабатывания электроники можно добиться эффективного и надежного запуска установки.

Очень важным было также исследовать емкостное растекание наведенного на считывающие электроды заряда, приводящее к уменьшению сигнала на площадке, через которую прошла частица, и к появлению заряда на соседних площадках<sup>/4/</sup>. В результате может возникнуть неоднозначность интерпретации экспериментальной информации с адронного калориметра. Поскольку растекание заряда происходит в основном вдоль поверхности трубок, для описания

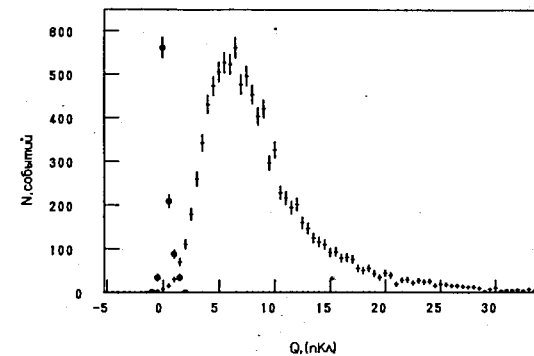


Рис.3. Спектр сигналов с супербашен от космических мюонов. Точками показан пьедастал.

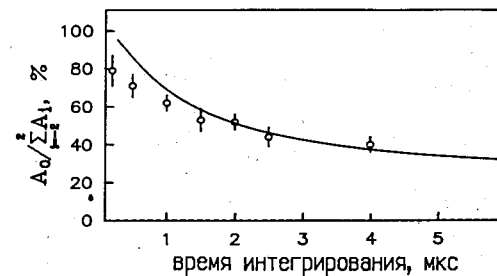


Рис.4. Отношение сигнала с центральной башни (через которую прошла частица) к сумме сигналов с 5 соседних башен, расположенных вдоль детекторов (центральной и по две с каждой стороны от нее), в зависимости от времени интегрирования заряда. Кривая – результат фитирования выражением, описывающим одномерную диффузию.

процесса распространения заряда было использовано одномерное уравнение диффузии. Рис.4 иллюстрирует удовлетворительное описание экспериментальных данных кривой, полученной в результате фитирования. Рассчитанные для найденной константы растекания зависимости от времени интегрирования зарядов, наведенных на центральную башню (через которую прошла частица), а также на соседнюю с ней, изображены на рис.5. Видно, что при больших временах интегрирования процесс диффузии заряда может существенно изменить отклик калориметра, и это необходимо учитывать при обработке экспериментальной информации.

Одной из основных проблем, с которыми приходится сталкиваться в процессе подготовки к работе экспериментальных установок, использующих в большом количестве пластиковые трубки с резистивным покрытием катода, является проблема выбора рабочей газовой смеси. Она должна обеспечивать стабильную и надежную работу детекторов в нужном режиме в течение длительного времени. Кроме того, для используемых в закрытых подземных залах установок существенным является пожаробезопасность газовой смеси. Все эти требования в полной мере предъявляются к установке ДЕЛФИ.

Наиболее распространенным вариантом газовой смеси для пластиковых трубок является смесь, содержащая благородный газ (Ar) и одну или несколько гасящих добавок (углеводороды,  $CO_2$ ). Образцы таких смесей - Ar:Isb в соотношении 1:3 и Ar: $CO_2$ :Isb 1:6:3 - использовались при исследованиях детекторов ДЕЛФИ. Недостатком этих смесей следует считать повышенное содержание изобутана, которое приводит к нарушению условия пожаробезопасности: отношение объемного содержания горючего газа к негорючему должно быть менее 0,106 для смесей с изобутаном. Кроме того, повышенное содержание высокомолекулярных соединений в условиях сильноточных стримерного или насыщенного пропорционального режимов работы способствует быстрому "старению" детекторов за счет полимеризации углеводородов на их внутренней поверхности. Поэтому была предпринята попытка найти газовую смесь с малым содержанием изобутана (менее 10%). Из приведенных в диссертации данных следует, что смеси на основе  $CO_2$ , содержащие 9% изобутана и от 0% до 5% аргона могут быть использованы в качестве рабочих, особенно при эксплуатации детекторов в насыщенном пропорциональном режиме.

С целью более глубокого понимания полученных

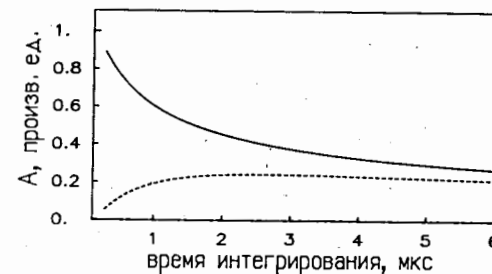


Рис.5. Зависимости от времени зарядов, наведенных на центральную и соседнюю с ней башни, рассчитанные по формуле одномерного растекания: сплошная линия соответствует центральной башне, пунктирная - соседней с ней.

экспериментальных данных было проведено моделирование работы АК с помощью пакета программ GHEISHA, являющегося в настоящее время общепринятым для изучения адронных процессов. Результаты моделирования представлены в четвертой главе /5/.

Одной из проблем, которые становятся наиболее важными при увеличении энергий сталкивающихся пучков, является проблема создания "скомпенсированных" калориметров, для которых отклик на электроны и адроны одной и той же энергии одинаков. Разница этих откликов приводит к тому, что флуктуации доли электромагнитной компоненты адронного каскада вызывают ухудшение энергетического разрешения. Эта проблема может быть частично решена за счет специальных алгоритмов восстановления энергии, которые компенсируют флуктуации электромагнитной компоненты ливня. Одна из таких процедур - процедура "взвешивания" сигналов - обычно использовалась для данных с калориметров, имеющих достаточно тонкую продольную сегментацию. Применение этого алгоритма для смоделированной конфигурации даже в случае съема информации с башен позволило несколько улучшить энергетическое разрешение, что видно из рис.6, где показана зависимость разрешения АК от энергии падающих адронов.

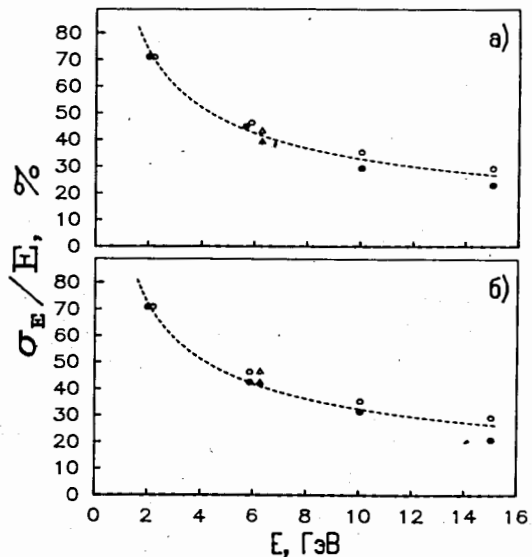


Рис.6. Зависимость энергетического разрешения АК от энергии адрона: а) информация снимается с плоскостей, б) с башен. Незаштрихованные фигуры - без коррекции, заштрихованные - с коррекцией отклика. Кружки - данные моделирования, треугольники - экспериментальные данные с прототипа АК. Кривые представляют результат фитирования скорректированных данных функцией  $AE^{-1/2}$ . Для случая а)  $A=104\%$ , для б)  $A=103\%$ . Без коррекции  $A=109\%$ .

Так как в установке ДЕЛФИ перед адронным калориметром располагается около 1,2 ядерных длин вещества (0,6 - электромагнитный калориметр (ЭМК), 0,6 - обмотка и стенки криостата магнита), то примерно в 70% случаев адроны будут иметь первичное взаимодействие, приводящее к развитию ливня до входа в АК. Следовательно, возникает задача восстановления энергии адронов по откликам АК и ЭМК с учетом влияния пассивного вещества

между ними. С целью изучения этой проблемы были выполнены специальные исследования, когда ЭМК ДЕЛФИ моделировался сцинтилляционным кристаллом CsI с примерно таким же количеством вещества по пучку, что позволило разработать метод восстановления энергии адронов в установке.

Простейший алгоритм восстановления энергии использует линейную комбинацию откликов калориметров:

$$E = AK + k \text{ ЭМК}, \quad (I)$$

где  $k$  - масштабный коэффициент, определяемый из условия получения наилучшего разрешения для данной энергии. Из рис.7 видно, что получаемое энергетическое разрешение лучше, чем в случае одного АК.

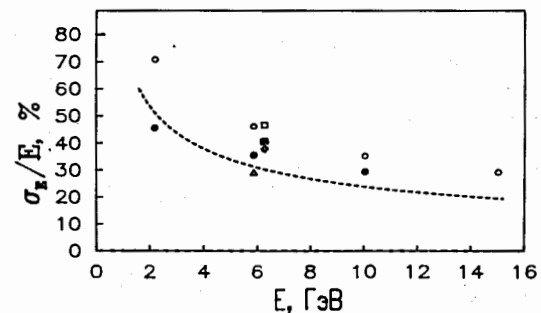


Рис.7. Зависимость энергетического разрешения от энергии адронов. Незаштрихованные фигуры - "чистый" АК, заштрихованные - система из АК и ЭМК, энергия восстановлена по формуле (I). Треугольник и ромб - энергия восстановлена с учетом более точной зависимости между сигналами с АК и ЭМК. Квадраты и ромб соответствуют экспериментальным данным с прототипа АК. Кривая представляет результат фитирования данных, изображенных черными кружками, функцией  $AE^{-1/2}$  ( $A=76\%$ ).

Дальнейшее улучшение разрешения может быть основано на более точном учете вида зависимости между сигналами с ЭМК и АК. Ряд предложенных алгоритмов использует формулу (1), где величина масштабного коэффициента  $k$  зависит от топологии события, т.е. от места начала ливня. В частности, коэффициент может зависеть от отношения откликов ЭМК и АК, от положения максимума ливня и т.д. В диссертации рассмотрен один из возможных алгоритмов. Показано, что его использование позволяет улучшить энергетическое разрешение системы адронного и электромагнитного калориметров на  $\sim 6,5\%$  по сравнению с простейшим возможным алгоритмом (1) для протонов с импульсом 6 ГэВ/с.

Пятая глава диссертации посвящена моделированию работы центральной дрейфовой камеры установки на встречных пучках УНК<sup>16/</sup>.

Наряду с развитием калориметрии все большее значение в установках на встречных пучках приобретают трековые детекторы. Практически все спектрометры, созданные или создаваемые для экспериментов на современных коллайдерах (Tevatron, SLC, LEP, HERA, УНК, LHC, SSC) имеют в своем составе трековые системы. Они позволяют существенно повысить исследовательские возможности экспериментальных установок. Большинство трековых детекторов – это дрейфовые камеры различной конструкции – либо "традиционные" (с большими дрейфовыми промежутками), либо с "малыми ячейками". В последние годы в области разработки и создания дрейфовых камер был достигнут значительный прогресс. С другой стороны, растущие энергии и светимости коллайдеров предъявляют все более жесткие требования к характеристикам дрейфовых камер, что приводит к необходимости дальнейших исследований такого типа детекторов.

В связи с тем, что дрейфовые камеры – это своего рода "классические" приборы, т.е. физические процессы, лежащие в основе их работы, хорошо изучены экспериментально и понятны теоретически, математическое моделирование становится важным этапом при подготовке к созданию таких детекторов. При создании пакета программ для моделирования центральной трековой системы установки УНК была сделана попытка учесть основные физические процессы, влияющие на характеристики дрейфовой камеры:

- ионизация, производимая регистрируемой частицей,
- дрейф электронов с учетом продольной и поперечной диффузии,

- флуктуации газового усиления,
- распространение сигнала вдоль резистивной проволоки (деление заряда),
- влияние на форму сигнала считывающей электроники,
- вклад шумов,
- оцифровка сигнала с помощью быстрых АЦП.

Имеющиеся к настоящему времени данные по применению дрейфовых камер в физике высоких энергий позволяют выбрать оптимальную конфигурацию и условия работы такого типа детекторов. Один из предложенных для установки УНК вариантов приведен на рис.8, где показана элементарная ячейка дрейфовой камеры и линии дрейфа электронов в магнитном поле. Для получения высокого разрешения в дрейфовой камере предполагается использовать "холодную" газовую смесь на основе  $\text{CO}_2$ , характеризующуюся малой скоростью дрейфа электронов и малой диффузией. Для регистрации сигналов планируется использовать быстрые АЦП, располагаемые с двух концов чувствительной проволоки.

Данные по пространственному разрешению ячейки дрейфовой камеры были получены с использованием нескольких методов восстановления координат, являющихся разновидностями двух основных методов – "лидирующей части" и "центра тяжести". Первый из двух алгоритмов дает временную привязку к фронту импульса, второй – к его центру тяжести. В диссертации рассмотрены основные факторы, влияющие на координатное разрешение: флуктуации ионизации, диффузия электронов в газе, резистивность чувствительной проволоки, тактовая частота быстрых АЦП. Показано, что в дрейфовой камере предложенной конфигурации можно получить координатное разрешение на уровне 50 мкм во всем диапазоне длин дрейфа (рис.9).

Одной из существенных характеристик дрейфовых камер является двухтрековое разрешение. В диссертации приведены результаты исследований данной характеристики, полученные при использовании нескольких алгоритмов разделения близких сигналов.

Метод, основанный на анализе первой производной, является классическим при разделении сигналов, поступающих от близко расположенных друг от друга треков. Использование этого алгоритма позволило получить 80%-е разделение сигналов при расстоянии между треками 650–670 мкм. Для более эффективного разделения сигналов



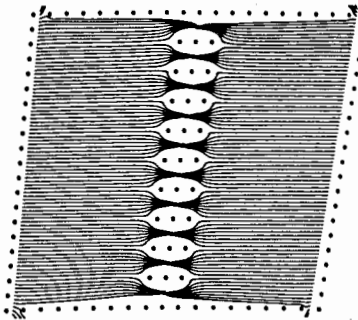


Рис.8. Линии дрейфа электронов в ячейке центральной дрейфовой камеры УКД. Магнитное поле 1.5 Т.

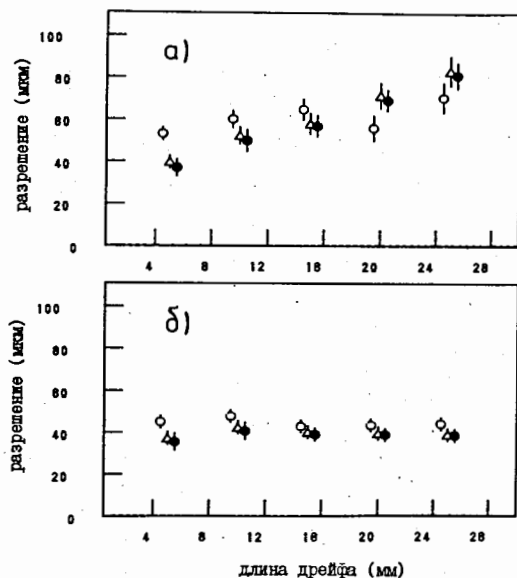


Рис.9. Зависимость координатного разрешения от координаты: а) для метода "лидирующей части", б) для метода "центра тяжести". Треугольники - нерезистивная анодная проволока; кружки - резистивная проволока: черные и белые фигуры представляют результаты, полученные с АЩ, расположенных с двух концов чувствительной проволоки. Тактовая частота АЩ 200 МГц.

были разработаны два новых метода: на основе анализа второй производной; на основе анализа сечений первой производной отрезками. Использование информации о второй производной позволило получить 80%-е разделение сигналов при расстоянии между треками 350-400 мкм. Однако трудности в уменьшении влияния шумов привели к серьезному усложнению алгоритма.

Суть наиболее интересного метода, основанного на анализе сечения первой производной отрезками, заключается в определении новой функции-критерия по формуле

$$K_1 = \left[ \sum_{j=1-n_1}^{1+n_2} P_j - \frac{P_{1+n_2+P_1-n_1} - (n_2+n_1+1)}{2} \right] \frac{P_1}{|P_1|}, \quad (2)$$

где  $P_1$  - производная в 1-ом канале АЩ (рис.10). Применение этого алгоритма, позволяющего наиболее эффективно использовать информацию о форме импульса, дает возможность разделить 80% сигналов при расстоянии между треками 320 мкм (рис.11).

В диссертации приведена также оценка влияния резистивности сигнальной проволоки и частоты стробирования АЩ на разделение сигналов и найдено, что при рассмотренных условиях можно получить двухтрековое разрешение не хуже 500 мкм.

В заклучении приводятся основные выводы диссертационной работы:

1. Исследованы характеристики различных вариантов стримерных трубок: с замкнутой и незамкнутой геометрией катодной поверхности, с резистивным и металлическим катодом. Изучено влияние геометрических неточностей, неизбежных при сборке детекторов, на их характеристики. Показано, что основной нестабильностью, присущей данному типу детекторов при их работе в сильноточных режимах, является возникновение самостоятельного разряда.

2. Предложен механизм, описывающий процесс возникновения самоподдерживающегося разряда. Этот механизм позволил объяснить методы повышения надежности пластиковых детекторов, разработанные в различных группах. Показано, что при работе в сильноточных режимах дефекты изготовления резистивного покрытия, неизбежные в условиях массового производства, будут приводить к отказам детекторов. Для существенного повышения надежности пластиковых трубок предложено уменьшить коэффициент газового усиления детекторов за счет перехода из самогасящегося стримерного в насыщенный пропорциональный режим работы.

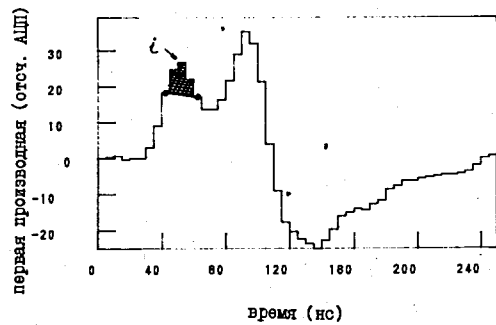


Рис.10. Пример использования метода, основанного на анализе сечения первой производной отрезками с закрепленными концами. Площадь заштрихованной поверхности равна значению функции-критерия в 1-ом временном канале. Длина отрезка составляет 5 каналов.

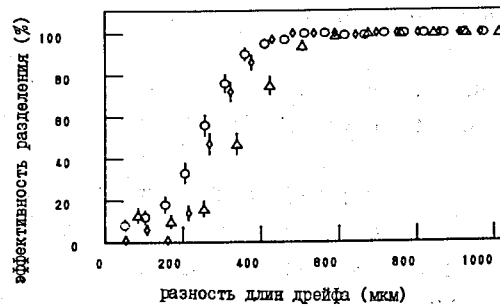


Рис.11. Эффективность разделения сигналов, поступающих на середину сигнальной проволоки, для метода, основанного на анализе сечения первой производной отрезками с закрепленными концами. Тактовая частота АЦП 200 МГц. Треугольники соответствуют длине дрейфа 5мм, ромбики - 15мм, кружки - 25мм.

3. Собран прототип адронного калориметра ДЕЛФИ и исследованы его характеристики на пучке синхрофазотрона ОИЯИ. Показано, что при работе детекторов в насыщенном пропорциональном режиме энергетическое разрешение калориметра не хуже по сравнению с СГС режимом. Рассмотрены методы калибровки электронных трактов по сигналам от адронов, проходящих через отдельные башни калориметра без взаимодействия. Полученные данные по развитию ядра электромагнитного каскада в калориметре были использованы при настройке программ моделирования.

4. Собран полномасштабный модуль адронного калориметра ДЕЛФИ в конфигурации, повторяющей реальную. Изучены его характеристики с использованием нового, более чувствительного по сравнению со стандартным, варианта электроники. Показано, что при работе в насыщенном пропорциональном режиме можно получить высокое отношение сигнал - шум.

5. Исследована возможность использования адронного калориметра для выработки мюонного триггера. Продемонстрировано, что при работе детекторов в предложенном режиме с использованием нового варианта электроники можно получить эффективный и надежный мюонный запуск установки.

6. Изучен процесс растекания заряда в модуле АК ДЕЛФИ. Показано, что он может существенно модифицировать отклик калориметра. Предложенная формула, описывающая этот процесс, может быть использована при интерпретации информации с калориметра. Полученные результаты учтены в предложениях по модернизации установки ДЕЛФИ для работы при более высоких энергии и светимости ускорителя.

7. Исследована возможность использования различных газовых смесей в качестве рабочих для детекторов адронного калориметра. Показано, что при работе пластиковых трубок в насыщенном пропорциональном режиме выбор таких смесей может быть значительно шире. Предложена негорючая газовая смесь для безопасной работы в больших установках.

8. Представлены результаты, полученные при моделировании адронного калориметра ДЕЛФИ с помощью пакета программ GHEISHA. Исследованы факторы, влияющие на энергетическое разрешение калориметра, и предложены методы улучшения данной характеристики прибора. Рассмотрены методы восстановления энергии адронов по откликам электромагнитного и адронного калориметров.

9. Создан пакет программ для моделирования работы дрейфовых камер. Моделирование с помощью этих программ позволяет детально изучить влияние основных физических процессов, происходящих в детекторе, на его характеристики.

10. Исследованы факторы, влияющие на координатное разрешение дрейфовых камер. Проведено сравнение результатов использования различных методов восстановления координат. Показано, что при работе с "холодными" газовыми смесями и использовании быстрых АПЧ можно получить координатное разрешение на уровне 50 мкм при длине дрейфа до 30 мм.

11. Изучены различные алгоритмы разделения сигналов от двух близколежащих треков. Показано, что в дрейфовых камерах с ячейками предложенной конфигурации двухтрековое разрешение составляет менее 500 мкм.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. N.A.Filatova, V.M.Golovatyuk, ..., A.I.Zinchenko, Nucl. Instr. and Meth., A261 (1987) 481.
2. N.A.Filatova, V.M.Golovatyuk, ..., A.I.Zinchenko et al., Nucl. Instr. and Meth., A272 (1988) 707.
3. N.A.Filatova, Yu.N.Gotra, ..., A.I.Zinchenko, Nucl. Instr. and Meth., A279 (1989) 518.
4. Ю.Н.Готра, Н.И.Зимин, Ал.И.Зинченко, Э.Н.Цыганов, Препринт ОИЯИ, ДІ-89-673 (1989).
5. А.С.Водопьянов, Ю.Н.Готра, ..., Ал.И.Зинченко и др., Препринт ОИЯИ, РІ-90-200 (1990).
6. Ю.Н.Готра, Н.И.Зимин, Ал.И.Зинченко и др., Препринт ОИЯИ, ДІЗ-89-85І (1989).

Рукопись поступила в издательский отдел  
II июня 1990 года.