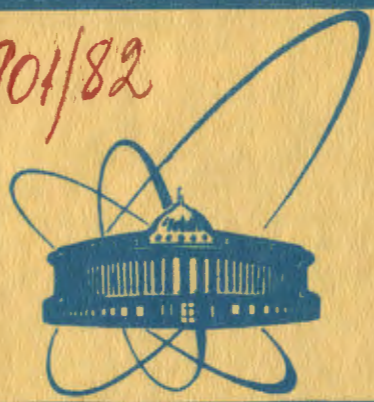


22/11-82

904/82



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-81-762

Г.Д.Алексеев, В.И.Ганичев, О.Е.Горчаков,  
Н.А.Калинина, В.В.Карпухин, В.В.Круглов,  
А.В.Купцов, Л.Лучан, Д.М.Хазинс

СИСТЕМА ПОЛУМЕТРОВЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР,  
РАБОТАЮЩИХ В САМОГАСЯЩЕМСЯ  
СТРИМЕРНОМ РЕЖИМЕ

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Данная система дрейфовых камер /ДК/ является частью экспериментальной установки по исследованию реакции обратного электро-рождения пиона на ядре водорода  $(\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n)$ <sup>1/</sup> и на легких ядрах. Она состоит из 18 камер размером  $48 \times 48$  см<sup>2</sup> и содержит 864 канала съема информации.

Система ДК<sup>2/</sup> надежно работает на установке для исследования обратного электророжения пионов<sup>17/</sup> с 1978 года.

Система имеет ряд характерных особенностей.

1. Шаг намотки сигнальных проволок для ДК довольно мал - 10 мм; потенциальные проволоки, которые обычно располагают между сигнальными, отсутствуют; все катодные проволоки имеют одинаковый потенциал.

В конструктивном отношении это обычные пропорциональные камеры с большим шагом намотки сигнальных проволок, с которых снимается информация о времени дрейфа. Такая конструкция отличается простотой, надежностью и удобством эксплуатации. Хотя отсутствие потенциальных проволок и приводит к нелинейности дрейфовых характеристик, эта нелинейность практически не ухудшает пространственной точности /что является конечной целью применения ДК в данном эксперименте/.

Следует отметить, что малый шаг намотки сигнальных проволок в ДК становится все более распространенным<sup>13/</sup>, так как позволяет использовать камеру в качестве годоскопа, а также сократить время ожидания информации и включить ДК в быстрый триггер. В то же время требования, предъявляемые к точности электронной аппаратуры, параметрам дрейфовых характеристик, постоянству газовой смеси и т.п., которые необходимы для получения высокого координатного разрешения, в данном случае слабее, чем для дрейфовых камер с большим шагом.

2. ДК работают в самогасящемся стримерном /СГС/ режиме<sup>4,5/</sup>. Этот режим характеризуется большой амплитудой сигнала, относительно малым мертвым временем, широкой областью рабочих напряжений, а также возможностью применения толстой анодной проволоки, что в совокупности обеспечивает ему преимущество перед пропорциональным режимом при использовании в камерах большого /  $\geq 1$  м<sup>2</sup> / размера. Работа в СГС режиме позволяет использовать высокий порог регистрации /100 мкА/, что создает хорошую помехозащищенность - в реальных экспериментальных условиях камеры были нечувствительны к работе высокочастотных систем усилителя и других внешних устройств. Кроме того, большая амплитуда сигнала в СГС режиме позволяет упростить усилители. Применение СГС режима не ухудшает пространственной точности ДК.

3. По условиям эксперимента ДК должна регистрировать по одной частице в событии /электрон или позитрон/. Это позволяет

существенно упростить электронику считывания, применяя параллельное кодирование, при котором после прохождения частицы через камеру на выходе системы считывания сразу образуется код номера сработавшей проволоки, а время дрейфа записывается одно для всей камеры/6/.

Ниже описываются конструкция и технология изготовления ДК, электроника считывания информации, счетные характеристики, а также дрейфовые характеристики и координатная точность.

## 2. КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДК

Система ДК состоит из 18 камер, собранных в три пакета по шесть камер в каждом. На рис.1 показано сечение одного пакета в собранном виде. Он состоит из пятнадцати дюралюминиевых рамок /1/, на которые крепятся стеклотекстолитовые платы с печатными электродами /2/, дюралюминиевые шайбы /3/ и лавсановые окна /4/. Обратная сторона рамок заклеена тонким  $\sim 0,1$  мм/ стеклотекстолитом /5/ для предотвращения электрических пробоев с высоковольтных электродов на рамки и для лучшей герметизации внутреннего объема. С внутренней стороны стеклотекстолитовых плат винтами закреплены калиброванные плексигласовые бруски /спейсеры/ /6/ для задания межэлектродного зазора с необходимой точностью. Следует отметить, что это единственная деталь в камерах, которая должна изготавливаться с высокой точностью  $\pm 0,05$  мм/. Для надежного сжатия рамок в области спейсеров, с тем чтобы выдержать межэлектродный зазор, средняя толщина каждой рамки в области шайб /3/ делается примерно на 0,2 мм меньше, чем в области спейсеров. Она подбирается с помощью прокладок из лавсана, помещаемых между рамкой /1/ и шайбами /3/. С наружной стороны анодных плат закреплены стеклотекстолитовые платы с электроникой /7/.

Ввод и вывод газа осуществляется через оливки /8/, расположенные на внешних рамках. Для герметизации объема камер используется шнур из вакуумной резины /9/.

Все рамки стягиваются шестнадцатью болтами /10/, расположенными с шагом 160 мм. В собранном виде пакет имеет большую жесткость и монтируется на экспериментальную установку как единое целое. Постоянство положения рамок внутри пакета при разработке и сборке обеспечивается тем, что четыре угловых болта делаются с маленьким  $\sim 0,1$  мм/ допуском относительно диаметров отверстий; остальные болты делаются с большим  $\sim 1$  мм/ допуском.

ДК имеют следующие геометрические параметры: шаг намотки анодных проволок  $s=10$  мм; диаметр - 50 мкм; шаг намотки катодных проволок 2 мм; диаметр 100 мкм; зазор между анодом и катодом  $L=8$  мм. Все электроды намотаны проволокой из берил-

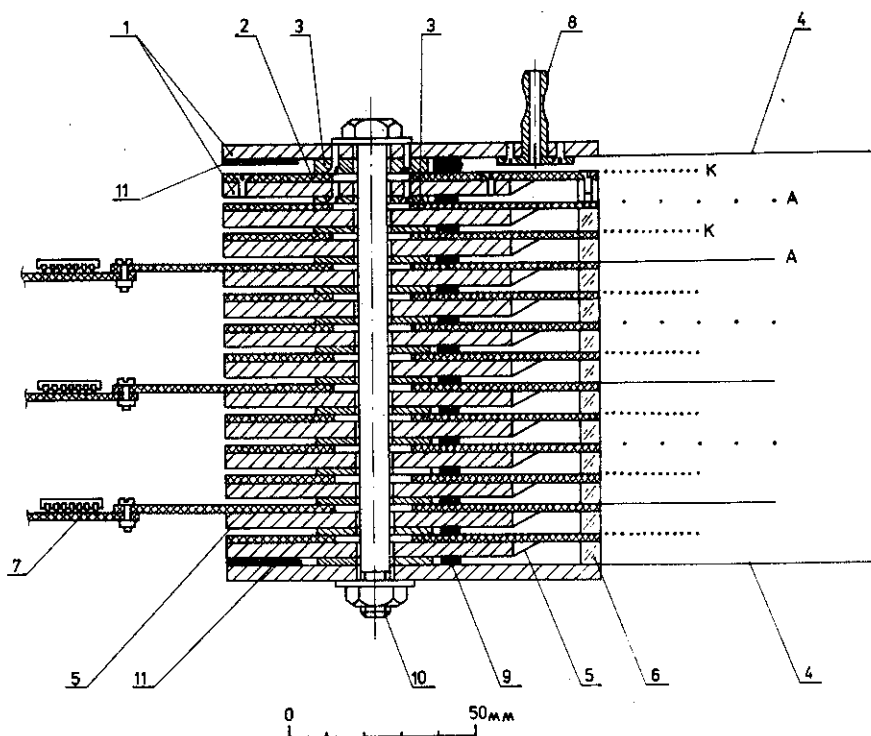


Рис.1. Сечение пакета ДК в собранном виде.

ливой бронзы. Катодные плоскости /K/ намотаны в одном направлении, анодные /A/ - во взаимно перпендикулярных, три из них дают X-координаты трека и три - Y-координаты. Анодная плоскость состоит из пятидесяти проволок, две крайние заземлены и не используются для регистрации частиц.

Необходимая точность пространственного расположения и натяжение проволочных электродов были определены на основе работы /7/, где были получены формулы для расчета механических допусков и натяжений электродов пропорциональной камеры произвольной геометрии. Для камер данной геометрии результаты работы /7/ выражаются в следующем. Чтобы обеспечить постоянство характеристик ДК в пределах 1% /по напряжению питания/ необходимо выдержать: а/ однородность диаметра анодной проволоки с точностью ~7%; б/ шаг намотки анодных проволок с точностью ~0,4 мм; в/ межэлектродный зазор с точностью ~0,2 мм. Однако требование к точности шага анодных проволок находится на уровне не ниже  $\pm 0,05$  мм, так как камера используется в качест-

ве дрейфовой. Для выполнения требования пункта в используются спейсеры /6/. Минимальное натяжение катодных и анодных проволок должно быть 7 и 4 г соответственно. Поскольку минимально допустимые силы натяжения оказались слишком малы, чтобы выпрямить проволоку, были выбраны следующие силы натяжения: для анодных проволок - 50 г, для катодных - 100 г, которые гораздо меньше соответствующих разрывных усилий /по нашим измерениям эти усилия составляют 300 и 800 г соответственно/.

ДК изготовлены в основном по технологии, предложенной в работе /8/, целью которой было создание достаточно простой технологии для изготовления больших  $\geq 1 \text{ м}^2$  разборных камер с малым количеством вещества на пути частицы /толщина одного пакета ДК составляет  $\sim 0,15 \text{ г/см}^2$ /.

Рамки склеивались эпоксидным клеем, его состав: эпоксидная смола /K115/+ отвердитель /полиэтиленполиамин/ + ацетон в соотношении 1:1/5:1/5 по весу. Добавка ацетона приводит к тому, что клей становится менее вязким, его легче наносить на склеиваемые поверхности, после затвердевания он легко обрабатывается режущим инструментом, склейка получается более упругой и надежной. Перед склейкой дюралюминиевые рамки протравливались в щелочном растворе. Склейка рамок /1/ с платами /2/ и изолирующим стеклотекстолитом /5/ велась в вакуумном мешке, чем достигалось постоянное давление  $\sim 1 \text{ кг/см}^2$  по всей склеиваемой поверхности. Вакуумный мешок изготавливался из тонкого  $\sim 0,2 \text{ мм}$  полиэтилена. Следует отметить, что метод склейки в вакуумном мешке чрезвычайно прост и пригоден для довольно больших поверхностей. Перед склейкой все платы /2/ закреплялись на рамке /1/ винтами, располагаемыми в шахматном порядке с шагом 160 мм; шайбы /3/ закреплялись также винтами. После этого производилась разборка одной из рамок, на склеиваемые поверхности наносился тонкий слой клея, все детали снова свинчивались вместе и рамка помещалась в вакуумный мешок, который откачивался форвакуумным насосом. Рамки извлекались из мешка в среднем через 12 ч. Склейка лавсановых окон с рамками производилась на монтажном столе. Рамка крепилась к столу болтами, лавсановый лист /толщиной  $\sim 100 \text{ мкм}$ / поверх рамки приклеивался липкой лентой по периметру стола с некоторым натяжением. По внешнему краю рамки в лавсане делались отверстия диаметром  $\sim 5 \text{ мм}$ , располагаемые в два ряда в шахматном порядке с шагом  $\sim 40 \text{ мм}$ , расстояние между рядами  $\sim 10 \text{ мм}$ . В эти отверстия помещались капли клея, а сверху плотно прижималась полоска стеклотекстолита /11/ толщиной 1 мм и шириной  $\sim 20 \text{ мм}$ . После затвердевания клея лишний лавсан обрезался; необходимое натяжение лавсана на рамке достигалось прогревом в потоке горячего воздуха. С внутренней стороны на лавсановое окно наносился тонкий слой полупроводящего покрытия /алкамона/.

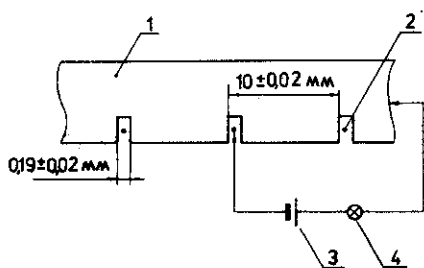


Рис.2. Устройство и схема включения корректирующей гребенки: 1 - гребенка; 2 - сигнальная проволока; 3 - батарея; 4 - лампа.

Намотка проволочных электродов на рамки производилась вручную. Рамки закреплялись на монтажном столе, на двух противоположных сторонах ко-

торого расположены ряды калиброванных штырей, задающих шаг намотки, установленных с точностью  $\pm 0,1$  мм. В процессе намотки монтажник роликом обводит проволоку вокруг штырей. После намотки проволоки расплавляются по внутреннему периметру рамки. Натяжение проволок при намотке задается электромотором, на вал которого насажена подающая катушка с проволокой. Проволока пропущена через три блока, к нижнему из них подвешен груз; по углу провисания проволоки контролируется сила натяжения. Данный способ намотки не требует сложного оборудования и позволяет вести намотку со скоростью около 250 проволок в час, а также обеспечивает постоянство натяжения проволок  $\pm 5\%$ .

Шаг намотки сигнальных /анодных/ проволок после распайки дополнительно измерялся и корректировался устройством, показанным на рис.2. Это устройство состоит из металлической гребенки длиной 50 см, в которой сделаны прорезы шириной  $0,19\pm 0,02$  мм с шагом  $10\pm 0,02$  мм; гребенка перемещается относительно стола микрометрическим винтом. Наличие электрического контакта между сигнальной проволокой и гребенкой свидетельствует о том, что положение проволоки необходимо поправить.

До и после распайки пакет ДК собирался и производились высоковольтные испытания и проверка герметизации объема камеры. Высоковольтные испытания производились на воздухе, при этом все сигнальные проволоки заземлялись, а на катоды подавалось напряжение 10 кВ. Обнаруженные на рамках места пробоев заклеивались тонким  $\sim 0,1$  мм/ стеклотекстолитом.

Принятая технология дает в результате следующие точности геометрических параметров:  $\Delta s = 0,04$  мм;  $\Delta L = 0,2$  мм /стандартные отклонения, усредненные по всем трем пакетам ДК/.

### 3. ЭЛЕКТРОНИКА СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Как отмечалось во введении, ДК по условиям эксперимента должна регистрировать по одной частице в событии. В этом слу-

чае применять распространенную систему считывания, при которой каждая сигнальная проволока /канал/ подключена к своему время-цифровому преобразователю /ВЦП/, нецелесообразно, так как большая часть аппаратуры не участвует в процессе считывания полезной информации. Для сокращения объема аппаратуры и сжатия информационного массива, передаваемого с ДК, устройство считывания /в/ параллельно кодирует номера сработавших каналов сразу после усилителей. В этом случае при прохождении одной частицы через камеру номер канала записывается в двоичном коде в регистр, а время дрейфа определяется одним ВЦП, стоп-сигнал для которого образуется путем объединения по ИЛИ всех каналов камеры.

Другой особенностью системы считывания является кодирование номера сработавшего канала в коде Грея. Это позволяет избежать существенного сбоя при наложении кодов в пределах разрешающего времени шифратора, что бывает, когда частица проходит примерно посередине между двумя анодными проволоками. В такой ситуации, при использовании кода Грея, происходит запись кода одного из соседних каналов; при использовании же обычного позиционного кода записывается номер постороннего канала. Однако незначительное искажение записываемой координаты может произойти и при использовании кода Грея, так как время дрейфа определяется по первому сработавшему каналу, тогда как в регистр может записаться код соседнего с ним канала. При этом величина максимальной ошибки измерения координаты частиц равна произведению скорости дрейфа на разрешающее время шифратора. Поэтому время разрешения, определяемое для данного шифратора длительностью импульсов кода, должно быть по возможности минимальным, /в нашем случае длительность импульсов кода ~25 нс, что может приводить к ошибке измерения координаты до 1 мм/.

Применение СГС режима /4/ позволяет установить высокий порог регистрации, что практически устраняет проблему внешних наводок. Кроме того, не нужно предъявлять высоких требований к стабильности этого порога, так как в СГС режиме сигнал возникает скачкообразно и его амплитудный разброс мал. В нашем случае порог усилителей-формирователей равен 100 мкА при средней амплитуде сигнала -1 мА /характерный порог для пропорционального режима - несколько мкА/. Входное сопротивление равно 150 Ом.

На рис. 3 показана блок-схема системы считывания информации с одной ДК. Усилители-формирователи и шифраторы номера канала расположены на камере. Усилители разбиты на три группы, по шестнадцать в каждой; каждая группа со своим шифратором размещена на отдельной плате /рис. 1, позиция 7/. Шифратор имеет выход ИЛИ и четыре выхода сигналов кода. Младшие разряды кода для всей ДК образуются суммированием по ИЛИ соответствующих разрядов шифраторов, старшие - кодированием номера группы /в ко-

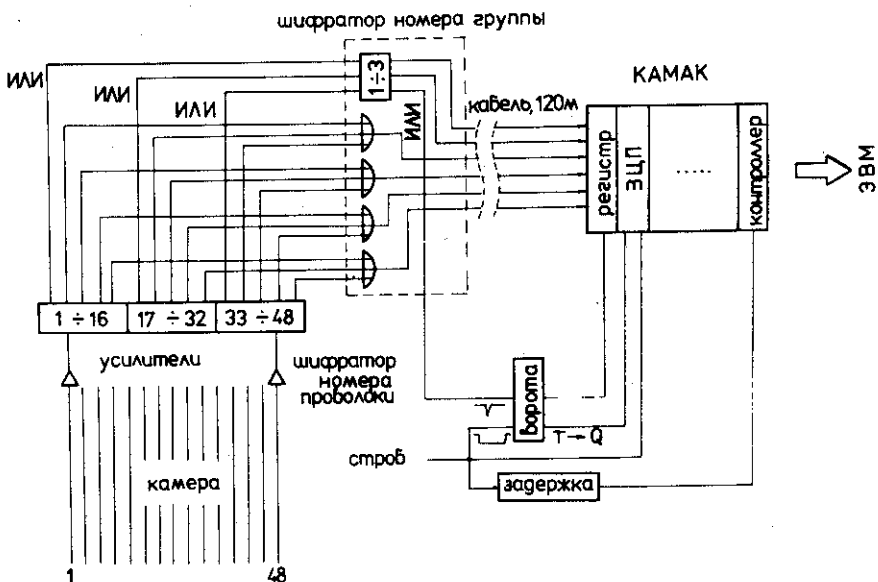


Рис. 3. Блок-схема системы считывания информации с ДК.

де Грея/ по соответствующим сигналам ИЛИ. Шифратор номера группы и схемы ИЛИ расположены на отдельной плате на камере и соединены с выходами шифраторов номера канала коаксиальными кабелями небольшой длины /~ 1м/. В блок-схему считывания входят также стандартные логические блоки быстрой электроники/10/ для выработки управляющих сигналов с учетом информации от других детекторов, блоки КАМАК/11/ для записи кода номера сработавшего канала и времени дрейфа, разработанные в Лаборатории ядерных проблем, и ЭВМ.

Система действует следующим образом. После прохождения через камеру заряженной частицы на выходах шифратора образуется код, соответствующий номеру сработавшей проволоки. Этот код по коаксиальным кабелям /длиной 120 м - для компенсации задержки выработки строб-импульса системой быстрой электроники/ передается на регистр КАМАК, куда записывается при наличии сигнала ИЛИ со своей камеры /длительность импульса ИЛИ ~25 нс/. Сигнал ИЛИ предварительно стробируется сигналом от быстрой электроники, длительность которого примерно равна максимальному времени дрейфа /в нашем случае ~ 0,5 мкс/.

Время дрейфа записывается одно для всей камеры. Оно обрабатывается в две стадии. Сначала на выходе (Т→Q) блока "Ворота"



образуется импульс тока, длительность которого равна разности времен прихода сигналов строба и ИЛИ; амплитуда этого импульса регулируется для изменения чувствительности преобразования. Затем этот импульс подается на один из входов шестивходового стробируемого зарядово-цифрового преобразователя /ЗЦП/ КА006/12/. ЗЦП имеет емкость 256 каналов /для каждого входа/, чувствительность - 4 пКл/канал /номинальная чувствительность - 1 пКл/канал/. Чувствительность преобразования время-код регулируется от 0,8 нс/канал до 20 нс/канал. Для данной системы ДК использовалась чувствительность 2 нс/канал.

#### 4. СЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Камеры работают при постоянном продуве газовой смесью из технического аргона, метана и метилала в соотношении 62:21:17 при атмосферном давлении. Газовый состав поддерживался с точностью около 1%.

Типичные счетные характеристики /эффективность, скорость одиночного счета и шумы/ ДК приведены на рис.4. Из рисунка видно, что плато эффективности достаточно велико / $\sim 400$  В/. Разброс положений плато эффективности для разных камер составил в среднем  $\pm 20$  В, то есть принятая технология обеспечивает достаточную однородность ДК /см. раздел 2/; для крайних ДК счетные характеристики смещены примерно на  $+80$  В из-за их выделенного положения в пакете и "электрической прозрачности" катодов.

Эффективность на плато составила в среднем  $\bar{\epsilon} = 99,6\%$  при следующих условиях: скорость счета камеры /загрузка/  $\sim 4 \cdot 10^4$  с $^{-1}$ , длительность строб-импульса 450 нс, интервал углов падения треков  $\sim +25^\circ$ . Относительно невысокая загрузка определялась экспериментальными условиями. Однако камеры испытывались и при загрузке до  $10^6$  с $^{-1}$ . В этом случае их эффективность понижалась до  $\bar{\epsilon} = 98,2\%$ , что примерно соответствует значению мертвой зоны

$\zeta = 50$  мкс·см для данной газовой смеси<sup>/5/</sup>. Довольно большая длительность строб-импульса также была возможна из-за небольшой загрузки камеры. Однако значительное сокращение длительности строб-импульса приводит к весьма незначи-

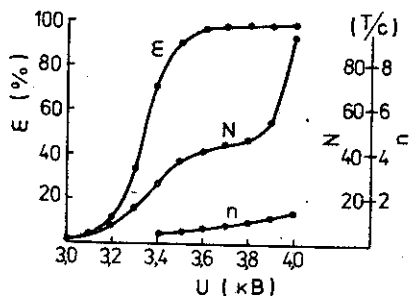


Рис.4. Зависимость эффективности  $\epsilon$ , скорости одиночного счета  $N$  и шумов  $n$  от напряжения питания ДК.

тельному уменьшению эффективности. Так, например, при длительности 275 нс и для самого неблагоприятного угла падения трека /по нормали к камере/ эффективность была ~98% при той же нагрузке  $\sim 4 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ ; с ростом угла эффективность возрастает.

## 5. ДРЕЙФОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КООРДИНАТНАЯ ТОЧНОСТЬ

Отличительная особенность дрейфовых характеристик для данной системы ДК - существенная нелинейность при малых углах падения трека. Это является следствием двух причин: во-первых, отсутствия потенциальных проволок, которые обычно располагаются между сигнальными для устранения области слабого электрического поля, и во-вторых, применения газовой смеси, необходимой для получения устойчивого СГС режима, в которой, однако, отсутствует эффект насыщения скорости дрейфа электронов при малой напряженности поля /ДК данной геометрии, работающая в пропорциональном режиме и заполненная газовой смесью с выраженным эффектом насыщения скорости дрейфа, имеет существенно более линейные дрейфовые характеристики<sup>/13/</sup>. На рис.5 приведено семейство дрейфовых характеристик, полученных на пучке частиц с малой угловой расходимостью / $\sim 2^\circ$ / при разных расположениях ДК относительно пучка. Характеристики получены на большом статистическом материале методом последовательных приближений. Они хорошо аппроксимируются аналитической зависимостью вида

$$\Delta x(t) = a[1 - \exp(-bt)],$$

где  $\Delta x(t)$  - путь дрейфа вдоль X-координаты;  $t$  - зарегистрированное время дрейфа;  $a$  и  $b$  - свободные параметры, которые подбираются для каждого угла падения. В качестве начального приближения для дрейфовых характеристик использовались интегральные временные спектры сигналов с ДК /14,15/. Это приближение оказалось достаточно хорошим и не ухудшилось в результате последующих итераций.

Координатная точность /среднеквадратичное отклонение/, усредненная по всем ДК и по дрейфовому промежутку, составляет

Координатная точность /среднеквадратичное отклонение/, усредненная по всем ДК и по дрейфовому промежутку, составляет

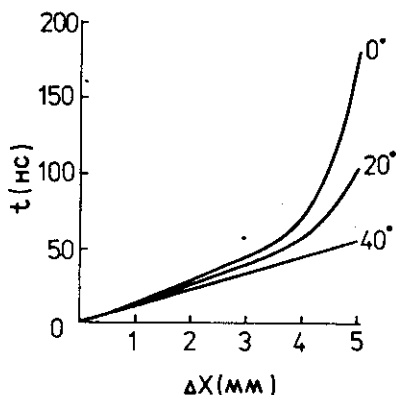


Рис.5. Семейство дрейфовых характеристик; параметром служит угол падения пучка.

0,2 мм. Следует отметить, что широко распространенный способ определения точности ДК по ширине распределения отклонений на полувысоте в предположении, что оно нормальное, то есть  $\sigma = fwhm / 2,355$ , приводит к искусственному завышению точности. Это может быть связано с  $\delta$ -электронами, уширяющими распределение отклонений "на хвостах", как было отмечено в работе<sup>/18/</sup>. В нашем случае разница между действительной точностью и ее оценкой по нормальному закону распределения довольно существенна - 0,22 мм и 0,15 мм соответственно. Для сравнения с ДК других конструкций приведем наилучшую точность, полученную по нормальному закону распределения для одной из камер данной конструкции, которая составила 0,11 мм.

Таким образом, данная конструкция ДК, принятая процедура получения дрейфовых характеристик и использование СГС режима не ухудшают координатной точности по сравнению со стандартным уровнем  $\sim /0,1-0,2/$  мм.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт трехлетнего использования данной системы ДК показал ее высокую надежность и простоту эксплуатации. За это время не было ни одного обрыва проволок. После непродолжительного периода отладки не было случаев отказа в электронике. Не существовало проблемы внешних наводок. После 3-4-кратной смены газа в камерах они входят в рабочий режим сразу после подачи высокого напряжения.

Авторы выражают свою признательность В.П. Пугачевичу, и А.И. Филиппову за полезные обсуждения; В.Г. Сазонову, В.А. Штырину, А.Е. Новикову, Н.А. Владимировой, С.Г. Пластининой, Г.В. Покидовой, В.Ф. Чуркиной, В.А. Смирнову, В.М. Кудрявцеву за помощь при изготовлении камер; Л.Л. Неменову за поддержку работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 13-7683, Дубна, 1974.
2. Алексеев Г.Д. и др. В кн.: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с. 57.
3. Онучин А.П. В кн.: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с. 21.
4. Alekseev G.D. et al. NIM, 1978, vol.153, p. 157.
5. Alekseev G.D. et al. NIM, 1980, vol.177, p. 385.
6. Verweij H. Int. Conf. on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati, 1973, p.616.
7. Алексеев Г.Д. и др. ПТЭ, 1978, №4, с. 47.

8. Алексеев Г.Д. и др. ПТЭ, 1978, №5, с. 50.
9. Карпухин В.В. ПТЭ, 1980, №2, с. 88.
10. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, P13-12334, Дубна, 1979.
11. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
12. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-11636, Дубна, 1978.
13. Алексеев Г.Д. и др. ПТЭ, 1978, №4, с. 51.
14. Cheng D.C. et al. NIM, 1974, vol.117, p. 157.
15. Breskin A. et al. NIM, 1974, vol.119, p.9.
16. Sauli F. В кн.: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, D13-11807, Дубна, 1978, с. 31.
17. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1977, 26, с. 547.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 декабря 1981 года.