

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

13-86-565

ПРИМЕНЕНИЕ  
БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСКОРИТЕЛЯХ

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

---

1986

---

Ю.А.Будагов, В.В.Глаголев, В.М.Королев, А.А.Омельяненко,  
А.А.Семенов, С.В.Сергеев  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В.Глинка, П.Повинец, Б.Ситар, Р.Яник  
Университет им.Я.А.Коменского, Братислава, ЧССР

Э.Кладива, М.Семан, Й.Шпалек  
Институт экспериментальной физики САН, Кошице, ЧССР

А.Б.Йорданов  
Софийский университет, НРБ

А.М.Артыков  
Филиал НИИПФ ТашГУ, Самарканд

М.Н.Омельяненко  
Московский институт радиозлектроники и автоматики

## I. Введение

Во многих экспериментах на ускорителях и с космическими лучами при поиске распада протонов необходимы значительные по размеру и при этом весьма точные координатные детекторы. Такими детекторами могут служить широкоазорные дрейфовые камеры (ЩДК): В последнее время появился новый класс ЩДК - безэлектродные дрейфовые камеры, т.е. камеры без полеформирующих электродов <sup>/1/</sup>. Их основные преимущества: исключительная простота конструкции и обусловленная этим значительная экономия труда при изготовлении, существенно упрощенная система высоковольтного питания, возможность создания камер и безэлектродных дрейфовых трубок сложной конфигурации <sup>/2,3,5,7/</sup>.

Ряд групп <sup>/1-7/</sup> создал и исследовал безэлектродные дрейфовые камеры разных типов и размеров; в выводах авторов указанных работ в той или иной мере содержалось убеждение, что эти камеры не пригодны для использования в интенсивных пучках на ускорителях.

В нашей работе <sup>/8/</sup> было, однако, показано, что в действительности безэлектродные ЩДК (при соблюдении ряда условий их изготовления и использования) могут эффективно работать в потоках до  $\approx 10^5$  частиц/с на проволочку.

В настоящей статье описывается конструкция и характеристики нескольких типов безэлектродных дрейфовых камер, в том числе камер с размерами  $1 \times 1$  м, которые в течение двух лет исследовались на пучке с целью использования в экспериментах на установке "Тигерон" <sup>/9/</sup>. Камеры использовались также для измерения координат электромагнитных ливней <sup>/10,11/</sup>. Как будет показано, безэлектродные дрейфовые камеры обладают рядом специфических свойств, но при правильном использовании их главные характеристики - эффективность, пространственное разрешение и линейность - практически не отличаются от характеристик обычных ЩДК. Предельная интенсивность пучка, при которой безэлектродные ЩДК еще имеют высокую (> 95%) эффективность, была повышена нами до уровня  $\approx (3-4) \cdot 10^5$  частиц/с на проволочку; эта эффективность не изменяется при колебаниях интенсивности в пределах вышеприведенной величины.

## 2. Дрейфовые камеры

В безэлектродных дрейфовых камерах электрическое поле формируется положительными ионами, накопившимися на внутренней стороне стенки камеры, сделанной из изолятора /1-4/. Различные материалы были использованы в качестве стенок безэлектродных камер: стеклотекстолит /1,6,8/, эпоксидная смола /3/, полиэтилен /2/, полипропилен /2,7/ и оргстекло /2/. Попытка применить оконное стекло /2/ была безуспешной. Нами во всех камерах использовался стеклотекстолит толщиной 1,5 мм, металлизированный с одной стороны.

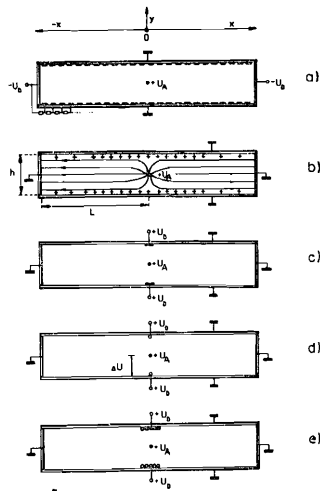


Рис.1. Схема электродной (а) и безэлектродных (b,c) дрейфовых камер; d,e - модуль безэлектродной дрейфовой камеры с размерами  $1 \times 1$  м.  $U_A$  - анодное напряжение,  $U_D$  - напряжение на стабилизирующих электродах.

Мы исследовали пять разновидностей широкоазорных дрейфовых камер (рис.1). Их размер (по пучку) составлял 20 мм, максимальная длина дрейфа электронов 100 мм. В качестве анодов служили проволоочки диаметром 30 мкм.

Рассмотрим основные параметры изученных камер. В электродной камере (рис.1а) с внутренней стороны стеклотекстолитовой стенки параллельно проволочке расположены медные полоски шириной 1,5 мм на расстоянии 5 мм друг от друга. В 100 мм от сигнальной проволочки размещены электроды под напряжением  $-U_D$ . С помощью делителя с точностью лучше 0,5% на полосках создается линейно падающий потенциал.

Изучались также характеристики четырех типов безэлектродных дрейфовых камер; в трех из них (рис.1с, d, e) имеются дополнительные электроды, управляющие газовым усилением. На рис.1b показана схема безэлектродной дрейфовой камеры, а также иллюстрируется известный по работе Аллисона /1/ принцип формирования поля в таких камерах. Камера на рис.1с имеет стабилизирующие электроды в виде медных полосок шириной 2 мм, размещенных непосредственно под и над сигнальной проволочкой. Чувствительная площадь камер "а", "b", "с"  $20 \times 30$  см<sup>2</sup>; в них имеется по одной сигнальной проволочке. Стенки камер изготовлены из стеклотексто-

лита марки СТ-1 со следующими паспортными параметрами: объемное сопротивление  $\rho_v > 5 \cdot 10^{12}$  Ом·м, сопротивление поверхности  $\rho_s > 5 \cdot 10^{13}$  Ом.

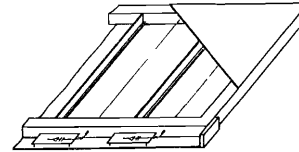


Рис.2. Схема части безэлектродной дрейфовой камеры в сборке (включая рамки и усилители) не превышает 25 мм, вес около 5 кг. Стенки камер сделаны из стеклотекстолита марки Cuprexit SEB -синий (ЧССР) с сопротивлением  $\rho_v = (1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{14}$  Ом·м и  $\rho_s = (7,5 \pm 1) \cdot 10^{13}$  Ом (по нашим измерениям). Две камеры имеют стабилизирующие электроды в виде проволочек толщиной 100 мкм, натянутых на поверхности стеклотекстолита параллельно сигнальной проволочке (рис.1d). В других двух камерах стабилизирующие электроды созданы из пяти проволочек толщиной 100 мкм, натянутых на расстоянии 0,5 мм друг от друга (рис.1e). Следует отметить, что хотя в камерах типа "с", "d", "е" используются стабилизирующие электроды, поле в них формируется главным образом за счет оседания положительных ионов на поверхности диэлектрика. Камеры продувались смесью 83,6% аргона и 16,4% изобутана. Испытания проводились на пучках  $\pi^+$ ,  $e^+$  и протонов с энергией 3-12 ГэВ на ускорителе ИФВЭ в Серпухове. Цикл ускорителя при этом 8 с, длина сброса 0,6 с, диаметр пучка  $\approx 5$  см.

Блок-схема канала электроники показана на рис.3. Зарядочувствительные усилители А1 /12/, размещенные непосредственно на камерах, имеют крутизну преобразования 0,4 В/пКл; усиление в усилителе А2 /12/ регулируется от 1 до 10. Сигнал дальше поступает в "детектор нуля", который дает временную привязку к его максимуму. Время дрейфа измеряется с помощью многостопового ВШ с точностью 1 нс в течение 16 мкс /13/. Ам-

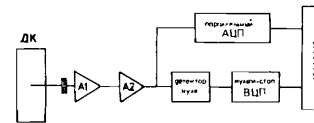


Рис.3. Блок-схема электронной аппаратуры. ДК - дрейфовая камера, А1, А2 - усилители.

плита марки СТ-1 со следующими паспортными параметрами: объемное сопротивление  $\rho_v > 5 \cdot 10^{12}$  Ом·м, сопротивление поверхности  $\rho_s > 5 \cdot 10^{13}$  Ом.

Нами были изготовлены и исследованы также четыре безэлектродные дрейфовые камеры с размерами  $1 \times 1$  м, каждая с 5 сигнальными проволочками (рис.2). Эти камеры компактны по конструкции, легки и прочны. Они собраны на квадратных рамках, изготовленных из метровых стеклотекстолитовых реек с сечением  $20 \times 30$  мм. Полный поперечный размер камеры в сборке (включая рамки и усилители) не превышает 25 мм, вес около 5 кг. Стенки камер сделаны из стеклотекстолита марки Cuprexit SEB -синий (ЧССР) с сопротивлением  $\rho_v = (1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{14}$  Ом·м и  $\rho_s = (7,5 \pm 1) \cdot 10^{13}$  Ом (по нашим измерениям). Две камеры имеют стабилизирующие электроды в виде проволочек толщиной 100 мкм, натянутых на поверхности стеклотекстолита параллельно сигнальной проволочке (рис.1d). В других двух камерах стабилизирующие электроды созданы из пяти проволочек толщиной 100 мкм, натянутых на расстоянии 0,5 мм друг от друга (рис.1e). Следует отметить, что хотя в камерах типа "с", "d", "е" используются стабилизирующие электроды, поле в них формируется главным образом за счет оседания положительных ионов на поверхности диэлектрика. Камеры продувались смесью 83,6% аргона и 16,4% изобутана. Испытания проводились на пучках  $\pi^+$ ,  $e^+$  и протонов с энергией 3-12 ГэВ на ускорителе ИФВЭ в Серпухове. Цикл ускорителя при этом 8 с, длина сброса 0,6 с, диаметр пучка  $\approx 5$  см.

Блок-схема канала электроники показана на рис.3. Зарядочувствительные усилители А1 /12/, размещенные непосредственно на камерах, имеют крутизну преобразования 0,4 В/пКл; усиление в усилителе А2 /12/ регулируется от 1 до 10. Сигнал дальше поступает в "детектор нуля", который дает временную привязку к его максимуму. Время дрейфа измеряется с помощью многостопового ВШ с точностью 1 нс в течение 16 мкс /13/. Ам-

плитуда сигнала измеряется с помощью 6-разрядного быстродействующего параллельного АЦП с мертвым временем 64 нс и диапазоном измерения времени 16 мкс /14/.

### 3. Результаты измерений

#### 3.1. Формирование электрического поля в интенсивных потоках частиц

Некоторые характеристики безэлектродных дрейфовых камер существенно отличаются от характеристик "обычных" дрейфовых камер. В модели, описывающей создание электрического поля в безэлектродной дрейфовой камере /1,4,7/, предполагают идеальные условия: заряд расположен на поверхности диэлектрика так, что все силовые линии идут в направлении от сигнальной проволоочки к металлическим катодам в концах камеры (рис.1 б). В условиях такого статического равновесия можно вычислить потенциал в любой точке камеры, а также рассчитать коэффициент газового усиления /4,7/. Эта картина справедлива при работе камер с малой загрузкой частицами пучка. В интенсивных пучках большую роль играют ток утечки через изолирующие стенки и дополнительное накопление заряда на стенках камеры за счет диффузии ионов.

Ток утечки вызывает уменьшение плотности заряда на поверхности стенок, что приводит к деформации "идеального" электрического поля в камере: некоторые силовые линии будут замыкаться на изолирующие стенки камеры, и в камере возникает фокусирующее электрическое поле /4/. Одновременно, в процессе газового усиления, вблизи сигнальной проволоочки возникает большой пространственный заряд положительных ионов; вследствие диффузии ионов плотность последних на поверхности диэлектрика увеличивается и создается дефокусирующее (для электронов) поле. Совместное действие тока утечки и диффузии ионов создает динамическое равновесие с почти "идеально" сформированным электрическим полем с новыми (по сравнению со статическим случаем) величинами плотности электрического заряда на поверхности диэлектрика, потенциала и газового усиления; последнее будет несколько меньше, но не будет зависеть от времени, что уже упоминалось в /1/.

Все приводимые далее в этом разделе результаты исследования характеристик камер относятся к камерам 1x1 м.

При анодном напряжении  $U_A$  нами измерялся потенциал  $U_D$ , созданный зарядом на поверхности диэлектрика в месте расположения стабилизирующих электродов (см. рис.1е). На эти электроды напряжение не подавалось, и с помощью статического вольтметра определялся потенциал  $U_D$ . В статической модели /4/, не учитывающей ток утечки, диффузию

ионов и накопление дополнительного заряда на поверхности изолятора, напряжение  $\Delta U = U_A - U_D$  зависит линейно от  $U_A$ . Эта зависимость показана на рис.4 штрихованной линией. В нашем случае (при загрузке  $\sim 10^5$  частиц/сброс на проволочку)

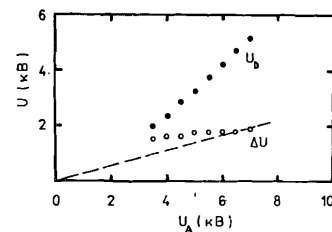


Рис.4. Зависимости  $U_D$  и  $\Delta U$  от напряжения на аноде  $U_A$ . Штрихованная линия — расчетная зависимость  $\Delta U(U_A)$ .

сразу после увеличения анодного напряжения газовое усиление растет и в результате повышается плотность ионов в объеме камеры. На поверхности диэлектрика в камере накапливается заряд до тех пор, пока не достигнуто новое равновесие, при котором диффузионный ток от положительных ионов компенсируется током утечки сквозь стенки камеры. Но, как нами обнаружено, в этом новом равновесном состоянии напряжение  $\Delta U$  практически не отличается от того, которое было в камере вначале при более низком анодном напряжении.

Результаты измерений в камере типа "е", приведенные на рис.4, указывают на слабую зависимость  $\Delta U$  от анодного напряжения, существенно отличающуюся от расчетной зависимости, не принимающей во внимание диффузию ионов и ток утечки (по нашим измерениям ток утечки в одной секции камеры размерами 1x0,2 м при загрузке  $10^5$  частиц/сброс  $\approx 7$  нА/м, причем полный ионизационный ток в камере  $\approx 0,5$  мкА). Интересно отметить, что в камере меньших размеров (типа "с"), где пучок засвечивает существенную часть ее поверхности, зависимость  $\Delta U(U_A)$  растет еще медленнее — можно сказать, что  $\Delta U$  практически не зависит от напряжения на аноде  $U_A$ .

Процесс накопления заряда на поверхности диэлектрика завершается довольно быстро. Наши исследования проводились обычно в потоках  $(5-10) \cdot 10^4$  частиц/сброс на проволочку, что во время сброса составляет около  $(2-4) \cdot 10^4$  частиц/с на 1 см ее длины. В таких условиях создание заряда идет медленнее в области напряжений  $U_A = 2-4$  кВ, где газовое усиление еще невысокое и в камере появляется довольно много шумовых импульсов. При более высоком напряжении на аноде процессы зарядки поверхности и стабилизации амплитуды сигналов происходят быстро. Мы обычно поднимаем напряжение на камере с нуля до 7-8 кВ в течение 15-20 минут, режим в камере полностью стабилизируется не позже, чем через полчаса после включения напряжения.

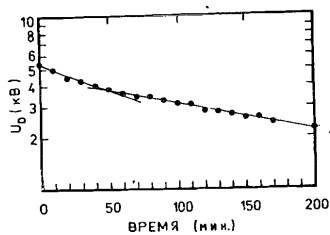


Рис.5. Временная зависимость уменьшения потенциала  $U_0$  на поверхности диэлектрика без подачи напряжения на анод.

рены такие зависимости в двух камерах при потоке  $\approx 5 \cdot 10^4$ /сброс на проволочку. Результаты измерений, показанные на рис.6, согласуются с

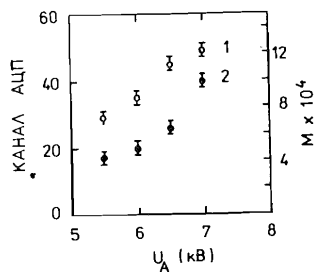


Рис.6. Средняя амплитуда и коэффициент газового усиления ( $M$ ) в зависимости от  $U_A$  в двух камерах размерами  $1 \times 1$  м.

Однако наши измерения показали, что применение одной проволочки по каждой стороне анода (см. рис.1d) не позволяет эффективно менять коэффициент газового усиления. Более действенно использование металлических полосок (см. рис.1c) или нескольких проволочек, имитирующих

Исследовался также процесс утечки заряда с поверхности диэлектрика. На рис.5 приведена временная зависимость уменьшения напряжения  $U_0$  на стабилизирующем электроде при выключенном (не заземленном) напряжении на аноде. Эта зависимость описывается двумя экспонентами, первая из них имеет постоянную времени около 120 минут.

### 3.2. Эффективность

Специфичность безэлектродных дрейфовых камер заключается в чрезвычайно слабой зависимости коэффициента газового усиления ( $M$ ) от напряжения на аноде. Нами были измерены такие зависимости в двух камерах при потоке  $\approx 5 \cdot 10^4$ /сброс на проволочку. Результаты измерений, показанные на рис.6, согласуются с подобными измерениями группы в Эггене [4]. Небольшой рост газового усиления объясняется слабой зависимостью  $\Delta U$  от  $U_A$  ( $M$  определяется известной экспоненциальной зависимостью от  $\Delta U$ ). В итоге счетная характеристика безэлектродной дрейфовой камеры обладает очень длинным плато, что показано на рис.7.

Эти специфические свойства безэлектродных дрейфовых камер определяют способ их использования в эксперименте. Видно, что практически невозможно изменять амплитуду сигнала увеличением анодного напряжения. Возможным способом изменения амплитуды сигнала является введение в камеру стабилизирующих электродов.

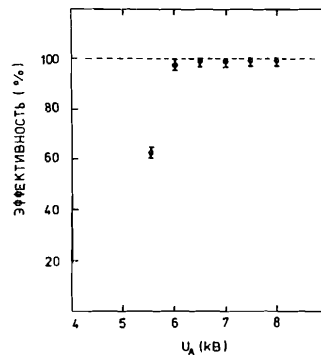


Рис.7. Счетная характеристика безэлектродной дрейфовой камеры.

КАМАК. С его помощью можно менять амплитуду сигнала в 10 раз, что вполне достаточно для получения высокой эффективности в безэлектродной камере по всей площади, как показано на рис.8, где приводится

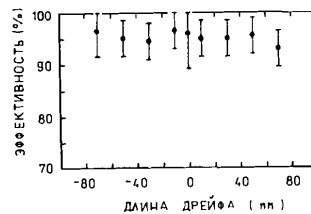


Рис.8. Трековая эффективность как функция длины дрейфа электронов.

трековая эффективность для камер  $1 \times 1$  м, полученная при реконструкции трека, проходящего через три дрейфовые камеры, из которых одна — исследуемая; в ней требовалось наличие следа в интервале  $\pm 3$  мм от вычисленного трека.

### 3.3. Пространственное разрешение

На рис.9 приведена зависимость измеряемого времени дрейфа электронов от координаты траектории частицы в двух безэлектродных дрейфовых камерах  $1, 2$  размерами  $1 \times 1$  м. Видно, что скорость дрейфа в различных камерах одинакова и отношение координата-время дрейфа линейно. Это свидетельствует о том, что электрическое поле в безэлектродных камерах одинаковой конструкции формируется одинаково. Из графиков, приведенных на рис.9, получаем необходимые константы для дальнейшей обработки данных: скорость дрейфа, задержки в каждом канале и взаимные сдвиги камер.

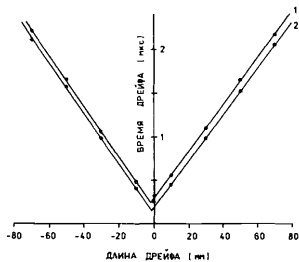


Рис.9. Измеренное время дрейфа как функция координаты частиц в двух камерах типа "d" размерами 1x1 м.

В наших безэлектродных дрейфовых камерах было достигнуто хорошее пространственное разрешение. На рис.10 приведено в качестве примера разрешение одной из метровых камер  $\sigma_x$  (среднеквадратичная ошибка) в зависимости от длины дрейфа  $x$ . Разрешение зависит от  $x$  как

$$\sigma_x = \sqrt{a^2 x + b^2}, \text{ где } a = 124 \text{ мкм} \cdot \text{см}^{-1/2}, b = 170 \text{ мкм}.$$

Измерялось также разрешение двух близких треков; оно оценивается величиной  $\approx 8$  мм. Оговоримся, что электронная аппаратура не оптимизировалась к таким измерениям, например, длина сигнала была довольно большой (150-200 нс).

### 3.4. Эффективность безэлектродных дрейфовых камер в интенсивных потоках частиц

Ранее мы показали [8], что безэлектродные дрейфовые камеры могут работать в потоках до  $10^5$  частиц  $\cdot \text{с}^{-1}$  на проволочку или до  $2 \cdot 10^4$  частиц  $\cdot \text{с}^{-1}$  на 1 см проволочки. В настоящей статье приводятся результаты, показывающие, что эти камеры могут работать при еще более высокой загрузке с сохранением высокой эффективности.

В интенсивных потоках частиц в дрейфовой камере возникает большое количество положительных ионов; пространственный заряд вблизи проволочки, а также в дрейфовом объеме приводит к существенному падению амплитуды сигнала, а впоследствии и эффективности. Величина этого эффекта оценивается, например, в [4]. Другой эффект, присущий только безэлектродной дрейфовой камере, заключается в оседании положительных ионов на поверхности изолирующих стенок камеры, что ведет к увеличению

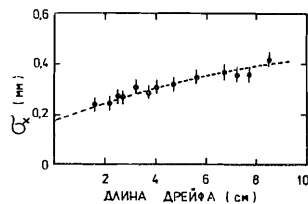


Рис.10. Пространственное разрешение  $\sigma_x$  в зависимости от длины дрейфа  $x$ . Линия представляет зависимость  $\sigma_x = \sqrt{a^2 x + b^2}$ , где  $a = 124 \text{ мкм} \cdot \text{см}^{-1/2}$ ,  $b = 170 \text{ мкм}$ .

плотности заряда на них. Это вызывает дополнительное уменьшение амплитуды сигнала и падение эффективности камеры. В наших камерах эти эффекты в значительной мере компенсируются с помощью стабилизирующих электродов и путем применения усилителя с регулируемым усилением.

**Стабилизирующие электроды.** Их, на наш взгляд, не следует использовать для получения максимального газового усиления; их основное назначение в том, что при выбранном значении  $U_d$  (постоянно в течение эксперимента) обеспечивается стабилизация коэффициента газового усиления в условиях резко меняющейся интенсивности потока частиц. Мы обычно используем анодное напряжение  $U_A = 7,5 \text{ кВ}$ , напряжение на управляющем электроде  $U_D = 5,5 \text{ кВ}$ , откуда  $\Delta U = 2 \text{ кВ}$ . Такая величина  $\Delta U$  совпадает с "естественной" величиной  $\Delta U$  (см. рис.4), соответствующей потенциалу в равновесном состоянии, образованному оседанием ионов на поверхности диэлектрика безэлектродной дрейфовой камеры.

В целях изучения поведения безэлектродных дрейфовых камер в условиях их работы на ускорителе и правильного выбора значений  $U_d$  и  $\Delta U$  нами была измерена зависимость напряжения  $\Delta U$  от интенсивности потока частиц в камере. Результаты этих измерений, приведенные на рис.11, показывают, что при увеличении загрузки от фоновой до  $4 \cdot 10^5$

частиц/сброс на проволочку напряжение  $\Delta U$  падает на 150-170 В. Из этого следует, что для обеспечения независимости эффективности работы камеры от интенсивности потока частиц достаточно иметь счетную характеристику (по  $\Delta U$ ) с плато длиной  $\sim 200 \text{ В}$ .

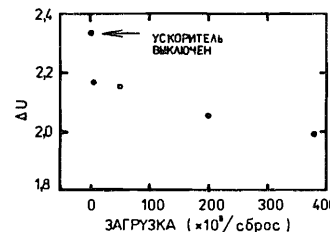


Рис.11. Зависимость  $\Delta U$  от интенсивности потока частиц через камеру типа "e".

Отметим, что фон в месте расположения установки отличается от естественного фона, что отражается и на равновесной величине напряжения  $\Delta U$  в безэлектродной камере. Самая левая (верхняя) точка на рис.11 измерена в момент, когда ускоритель не работал, точка под ней - при работающем ускорителе, но полностью закрытом коллиматоре нашего канала, когда через камеру пролетает 100-200 частиц/сброс. Разница  $\Delta U$  в этих двух случаях составляет  $\approx 160 \text{ В}$ . Нужно подчеркнуть, что при самых малых или самых больших загрузках не возникает опасности пробоя в камере. Мы испытывали камеры в течение многих часов при фоновой загрузке, а также при больших загрузках без единого случая пробоя.

**Регулируемый усилитель.** Падение амплитуды сигнала при увеличении интенсивности потока частиц можно компенсировать использованием дополнительного регулируемого усилителя (A2 на рис.3). Взаимосвязь величин эффективности, коэффициента усиления электронной аппаратуры K и загрузки камеры иллюстрируется на рис.12. Первоначально мы устано-

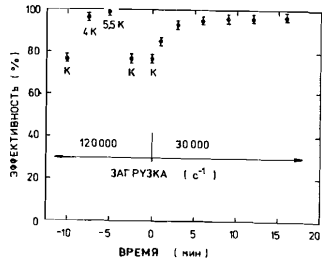


Рис.12. Эффективность камеры типа d при усилениях K, 4K и 5,5K; скорость восстановления эффективности камеры после уменьшения загрузки при усилении K.

вили некоторое значение K, при котором эффективность была 77% при загрузке  $1,2 \cdot 10^5$  частиц/с на проволочку. Повышение значения K в 4 раза (5,5 раз) увеличивает эффективность до 96,5%

(99,2%). На этом рисунке результаты измерения даны в реальной временной шкале. При этом порог дискриминатора (20 мВ) еще существенно превышает уровень шумов и измеряемый профиль пучка не имеет "хвостов".

**Инерционность камеры.** Мы измеряли также скорость восстановления эффективности в безэлектродных дрейфовых камерах. Напомним, что до момента  $t = 0$  (рис.12) камера типа "d" работала в пучке с интенсивностью в сбросе  $1,2 \cdot 10^5$  частиц/с на проволочку при некотором усилении K с эффективностью 77%. В момент времени  $t = 0$  интенсивность сброшена до  $3 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>. Видно, что при фиксированном K эффективность выходит на уровень 96-97% менее чем за 10 минут.

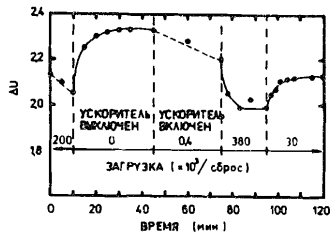


Рис.13. Изменение  $\Delta U$  во времени в зависимости от загрузки в камере типа "e".

Время восстановления эффективности камеры определено скоростью восстановления напряжения  $\Delta U$  после сильного облучения. На рис.13 приведена зависимость  $\Delta U$  от времени в камере типа "e" при различных загрузках - от фоновой (при выключенном ускорителе) до  $3,8 \cdot 10^5$  частиц/сброс на проволочку. Видно, что  $\Delta U$  восстанавливается относительно быстро - в течение  $\approx 10$  минут. Такая скорость изменения  $\Delta U$  совпадает с измеренной нами скоростью рассасывания заряда на поверхности диэлектрика (рис.5), где потенциал  $U_b$  в течение 10 минут спадает на  $\approx 300$  В.

**Эффективность при предельных нагрузках.** Из рис.14 видно, что эффективность в безэлектродной ДК (типа "e") со стабилизирующими электродами при фиксированном напряжении  $\Delta U = 2$  кВ остается высокой даже при загрузке  $5 \cdot 10^5$  частиц/сброс на проволочку. Дальнейшее увеличение загрузки в ДК с длиной дрейфа 10 см (время сбора электронов  $\approx 2$  мкс) мы считаем нецелесообразным из-за невозможности отличить треки из измеряемого события от треков, пролетевших через камеру до или после этого события.

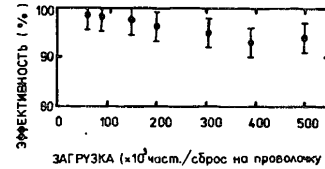


Рис.14. Зависимость эффективности работы камеры "e" от загрузки.

Накопление дополнительного заряда на поверхности диэлектрика имеет локальный характер - оно возникает только в месте прохождения пучка. Этот факт мы наблюдали экспериментально, когда облучали одну из проволочек камеры типа "e" пучком с интенсивностью  $5 \cdot 10^5$  частиц/сброс. Эффективность в месте облучения упала до 93%. В то же время на той же самой проволочке на расстоянии 20 см от места сильного облучения эффективность была 99% (при интенсивности  $5 \cdot 10^4$  частиц/сброс).

**Эффективность при резко меняющихся нагрузках.** Наиболее существенным достижением в проведенных исследованиях является получение режима работы безэлектродных ДК, при котором эффективность не зависит от изменений в загрузке. Основное значение при этом имеет выбор "правильных" величин K и  $\Delta U$ .

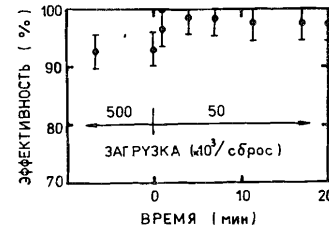


Рис.15. Временная зависимость эффективности при разных нагрузках в камере типа "e".

Скорость восстановления эффективности в безэлектродных ДК нами проверялась неоднократно в различных условиях. На рис.15 в качестве примера приведена кривая восстановления эффективности в камере типа "e" при  $\Delta U = 2$  кВ после работы при загрузке  $5 \cdot 10^5$  частиц/сброс на проволочку.

Данные, приведенные на рис.5, 12, 13 и 15, свидетельствуют о внутренней согласованности результатов по времени восстановления величины  $\Delta U$  и высокой эффективности камеры после больших загрузок: это время  $\approx 10$  мин, в камере с управляющими электродами при  $\Delta U = 2$  кВ оно еще меньше (рис.15).

Роль коэффициента усиления  $K$  по отношению к эффективности камер при резко колеблющейся загрузке иллюстрируется рис.16. Если в ка-

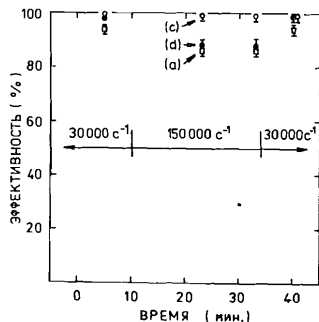


Рис.16. Эффективность как функция загрузки и усиления.  $\circ$  — камера с, усиление 5К;  $\bullet$  — камера b, усиление 2К;  $\square$  — камера a, усиление 2К.

мере типа "d" с усилением 2К и  $\Delta U = 2$  кВ эффективность меняется существенно при изменении загрузки в сбросе с 30 до 150 тысяч частиц в секунду, то в камере типа "c" при усилении 5К и  $\Delta U = 2$  кВ она уже не зависит от загрузки. Отметим идентичность загрузочных харак-

теристик безэлектродной камеры "d" и электродной камеры "a" с одинаковым коэффициентом усиления 2К, что также иллюстрируется рис.16. Это позволяет заключить, что причиной падения эффективности в камерах "a" и "d" является прежде всего накопление пространственного заряда в их объеме, т.е. дополнительное накопление заряда на поверхности диэлектрика в безэлектродной камере не существенно.

Отметим также, что безэлектродные ДК не успевают реагировать на циклическую работу ускорителя (цикл 8 с, сброс  $\approx 1$  с), так как характерная длительность переходных процессов в камере  $\approx 10$  минут. Это значит, что безэлектродные ДК эффективно действуют и в условиях режима ускорителя с выведенными пучками.

В нашей предыдущей работе [8] было показано, что другие характеристики безэлектродных дрейфовых камер, как скорость дрейфа и пространственное разрешение, практически не зависят от загрузки в сбросе вплоть до  $\approx 2 \cdot 10^5$  частиц в секунду.

Приведенные данные основываются на результатах испытания безэлектродных дрейфовых камер в течение почти двух лет в составе установки "Гиперон" на ускорителе ИФВЭ в Серпухове. Они были использованы прежде всего для измерения координат электромагнитных ливней от гамма-квантов и электронов с высокой точностью [10, 11].

#### 4. Заключение

Разработаны и созданы безэлектродные дрейфовые камеры с размерами до  $1 \times 1$  м, испытания которых на пучке показали: камеры обладают хорошим пространственным разрешением (0,2–0,4 мм), линейностью и работают

с высокой эффективностью ( $> 95\%$ ) вплоть до загрузок  $(3-4) \cdot 10^5$  частиц/сброс на проволочку, что в сбросе соответствует  $\approx 5 \cdot 10^4$  частиц/с на 1 см длины проволочки или  $(2-3) \cdot 10^3$ /с  $\cdot$  см<sup>2</sup>. В наших условиях это означает, что во время сброса через камеру может пролететь до  $(2-3) \cdot 10^7$  частиц/с  $\cdot$  м<sup>2</sup> (камера не стоит в прямом пучке и облучается равномерно). При работе на коллайдере, где загрузка постоянная, можно через наши камеры пропустить до  $3 \cdot 10^6$  частиц/м<sup>2</sup>  $\cdot$  с без потери эффективности. Приведенные в работе результаты исследования этих камер получены нами при выполнении следующих условий:

- сопротивление материала, из которого изготавливаются стенки камеры, предпочтительно выбирать не очень высоким — вполне пригоден обычный стеклотекстолит;
- толщина стенок камер, выполненных из стеклотекстолита, была небольшой и составила  $1+1,5$  мм;
- для стабилизации режима работы камер применялись стабилизирующие электроды под постоянным потенциалом;
- газовое усиление выбиралось минимальным (при сохранении высокой эффективности);
- коэффициент усиления электронной аппаратуры был оптимизирован так, чтобы обеспечить высокую эффективность при большой загрузке.

Авторы благодарны В.Б.Флягину, В.М.Кутыну и Ю.Ф.Ломакину за поддержку работы, А.М.Блику, Г.С.Бшадзе и А.С.Соловьеву за ценную помощь и многочисленные советы при выполнении данной работы.

#### Литература

- I. J.Allison et al. Nucl.Instr. and Meth., 201 (1982) 341.
2. Ch.Becker, W.Weihls and G.Zech. Nucl.Instr. and Meth., 200 (1982) 335.
3. A.Franz and C.Grupen. Nucl.Instr. and Meth., 200 (1982) 331.
4. Ch.Becker, W.Weihls and G.Zech. Nucl.Instr. and Meth., 213 (1983) 243.
5. G.Zech. Nucl.Instr. and Meth., 217 (1983) 209.
6. D.S.Ayres and L.E.Price. ANL-HEP-82-34 (1982).
7. R.Dorr, C.Grupen and A.Noll. Nucl.Instr. and Meth., A238 (1985) 238.
8. Yu.A.Budagov et al. Nucl.Instr. and Meth., A238 (1985) 245.
9. В.А.Антиков и др. ПТЭ, 1985, № 5, с.35.
10. Yu.A.Budagov et al. Nucl.Instr. and Meth., A238 (1985) 74.
11. Г.С.Бшадзе и др. ОИЯИ, ДПЗ-85-694, Дубна, 1985.



12. А.А.Омельяненко, М.Н.Омельяненко, Л.С.Барабаш. ОИЯИ, I3-84-382, Дубна, 1984.  
 13. Yu.A.Budagov et al. Nucl.Instr. and Meth., A234 (1985) 302.  
 14. Ю.А.Будагов и др. ОИЯИ, I3-85-585, Дубна, 1985.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
D13-85-793	Труды .XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Рукопись поступила в издательский отдел  
 19 августа 1986 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
 Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Будагов Ю.А. и др.  
Применение безэлектродных дрейфовых камер  
в экспериментах на ускорителях

13-86-565

Несколько типов широкоазорных безэлектродных дрейфовых камер, в том числе камер с размером  $1 \times 1$  м, было исследовано в пучках частиц на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/. Камеры работают с высокой эффективностью ( $> 99\%$ ), хорошим пространственным разрешением ( $\sigma = 0,2-0,4$  мм) и линейностью в потоках до  $2 \cdot 10^5$  частиц  $\cdot$  с $^{-1}$  на проволочку. Показано, что при правильном выборе режима работы камеры колебания интенсивности пучка в пределах до  $4 \cdot 10^5$  частиц/сброс на проволочку не влияют на эффективность работы камеры.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод М.И.Потапова

Budagov Yu.A. et al.  
How to Use Electrodeless Drift Chambers  
in Experiments at Accelerators

13-86-565

Several types of wide-gap electrodeless drift chambers, including those with dimensions  $1 \times 1$  m, have been tested at accelerator beams. The chambers work with high efficiency ( $>99\%$ ) good spatial resolution ( $\sigma = 0.2-0.4$  mm) and good linearity at flux rates up to  $2 \cdot 10^5$  particles  $\cdot$  s $^{-1}$  per wire. It is shown that at the proper mode of operation beam intensity oscillations within the range of up to  $4 \cdot 10^5$  particles) spill per wire do not affect the chamber efficiency.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986