

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

А 866

13-87-818

А.М.Артыков*, В.В.Глаголев, В.Г.Глинка,
Э.Кладива, Б.Ситар

**ПАРАМЕТРЫ ДИЭЛЕКТРИКА
И ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕРАХ**

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Филиал Научно-исследовательского института
прикладной физики ТашГУ, Самарканд

ВВЕДЕНИЕ

Недавно появился новый тип дрейфовых камер - безэлектродные дрейфовые камеры /1/, в которых отсутствуют полеформирующие электроды. Однородное электрическое поле в них формируется накоплением положительного заряда на поверхности диэлектрика /рис. 1а/. Эти камеры относятся к классу "экономных" дрейфовых камер. Их главные преимущества:

- 1/ простая конструкция;
- 2/ отсутствие громоздких рамок;
- 3/ небольшой вес;
- 4/ простая и надежная высоковольтная система.

Такие камеры могут служить в качестве координатных детекторов частиц, частей электромагнитных и адронных калориметров крупных установок на коллайдерах и выведенных пучках.

Вначале безэлектродные дрейфовые камеры /БДК/ применяли только в потоках частиц небольшой интенсивности /1-4/. Нами было показано, что они могут эффективно работать в экспериментах на ускорителях /5-6/.

БДК отличаются некоторыми особенностями от "классических" дрейфовых камер, например очень слабой зависимостью коэффициента газового усиления M от анодного напряжения /6/, длинным плато счетной характеристики. Принцип формирования электричес-

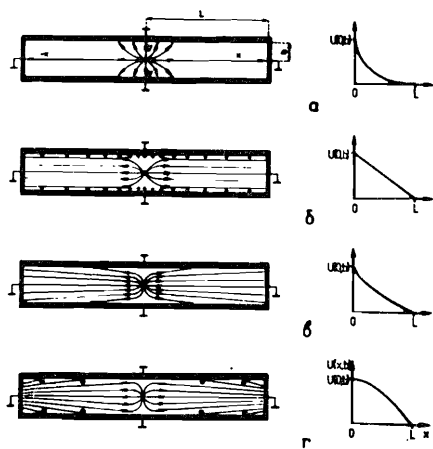


Рис. 1. Схема безэлектродной дрейфовой камеры, силовых линий электрического поля и форма потенциала $U(x, y)$ при:

- а/ включении анодного напряжения;
- б/ идеальном поле;
- в/ недостатке заряда на поверхности;
- г/ избытке заряда на поверхности.

кого поля в БДК известен^{1-2/}, но при работе этих камер в относительно интенсивных потоках частиц существенную роль играют дополнительные эффекты: пространственный заряд в объеме камеры, избыточная по сравнению с "идеальным" зарядка поверхности диэлектрика за счет диффузии ионов и утечка заряда через диэлектрик. Выяснению некоторых из этих вопросов и их связи с качеством стенок камеры /диэлектрика/ посвящена настоящая работа. Исследования характеристик БДК проводились в течение двух лет на установке "Гиперон" на 18 канале ускорителя ИФВЭ /Серпухов/.

1. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯТОРА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ТОК УТЕЧКИ

Формирование электрического поля в безэлектродной дрейфовой камере впервые описано группой в Манчестере^{1/}. На рис.1б приводится схема БДК и силовые линии идеально сформированного поля, образованного в результате накопления положительных ионов на поверхности материала изолятора камеры. Идеальным принято называть однородное поле с напряженностью $E_d = const.$, все силовые линии которого параллельны и замыкаются на катоде. Отклонения от идеального поля возникают при большой плотности объемного заряда, который за счет диффузии оседает на поверхности стенки камеры, что приводит к расфокусировке поля /рис. 1г/. С другой стороны, ток утечки через диэлектрик разряжает поверхность изолятора, то есть фокусирует поле /рис.1в/. Для оценки отклонений от идеального электрического поля во внутреннем объеме камеры необходимо знать распределение потенциала на поверхности изолятора $U(x,b)$, или нужно знать потенциал на поверхности изолятора над /под/ анодной проволочкой $U(0,b)$, сопротивление материала изолятора R и ток утечки I_y .

Сопротивление материала изолятора камеры определяется значением удельного объемного сопротивления ρ_v и удельного поверхностного сопротивления ρ_s изолятора. Исследуемые безэлектродные дрейфовые камеры площадью $0,2 \times 0,3 \text{ м}^2$ /камера 1/ и $1 \times 1 \text{ м}^2$ /камера 2/^{5,6/} имеют в качестве изолятора, образующего их стенки, 1,5 мм односторонний фольгированный стеклотекстолит марки "Suprextit SEB - синий" /ЧССР/ с паспортными параметрами $\rho_v > 10^{10} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_s > 10^{10} \text{ Ом}$. С целью точного определения ρ_v и ρ_s были изготовлены образцы для измерения объемного I_v и поверхностного I_s токов утечки, причем $I_y = I_v + I_s$. Образец для измерения I_v представлял собой прямоугольник размера 114x54 см, причем площадь фольги $100 \times 40 \text{ см}^2$ была равна суммарной площади поверхности изолятора одной секции метровой

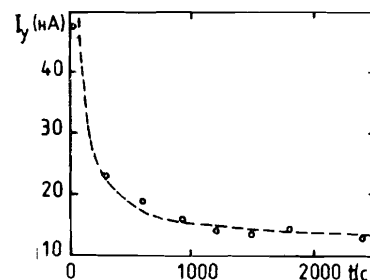


Рис. 2. Временная зависимость объемного тока утечки.

камеры^{6/}. К нефольгированной стороне прикладывался алюминизированный майлар /100x40 см/, проводящей стороной к стеклотекстолиту. Ток измерялся наноамперметром^{7/}. Фиксировались устойчивые значения тока I_v /"сквозной" ток/, типичный пример показан на рис. 2, где экспериментальные точки аппроксимированы функцией Жолио-Кюри: $I(t) = I_\infty + 1817/t^{0,9}$, где I_∞ - ток в полностью поляризованном диэлектрике. В результате измерений получено значение $\rho_v = 1,3 \times 10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. В результате измерения емкости образца получено значение диэлектрической проницаемости изолятора ϵ_r . Измеренная емкость $C = 9,59 \text{ нФ}$ дает значение $\epsilon_r = C/C_p = Q/Q_c = 4,1$ (C_p - расчетная емкость образца и $Q = Q_c + Q_n$), показывающее, что заряд образца состоит на четверть из "свободного" Q_c и на три четверти из "связанного" Q_n зарядов.

Поверхностное удельное сопротивление ρ_s определялось путем измерения поверхностного и объемного токов утечки на прямоугольной пластине одностороннего фольгированного стеклотекстолита с двумя параллельно наклеенными на нефольгированную сторону медными полосками длиной 1 м, расстояние между которыми составляло 10 см. Ширина полосок 1 см. При измерении поверхностного тока между полосками фольгированная сторона заземлялась. Фиксировались постоянные /устоявшиеся/ значения тока. Получено значение $\rho_s = 6,7 \times 10^{14} \text{ Ом}$.

Имея измеренные значения ρ_v и ρ_s , можно рассчитать поверхностное R_s и объемное R_v сопротивления материала стенок камеры: $R_s = \frac{1}{4} \rho_s \frac{L}{\ell} = 5,58 \cdot 10^{13} \text{ Ом}$; $R_v = \frac{1}{4} \rho_v \frac{d}{L\ell} = 1,625 \cdot 10^{12} \text{ Ом}$, где L, ℓ, d обозначают 0,5 ширины, длину и толщину диэлектрика камеры /см. рис. 1/. Так как $R_s \gg R_v$, в дальнейшем поверхностное сопротивление стенок камеры в расчет не принималось.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА УТЕЧКИ И ПОТЕНЦИАЛА $U(0,b)$ В БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЕ

Конфигурация электрического поля во внутреннем объеме камеры определяется потенциалом $U(x,b)$ /рис. 1/, значение которого зависит от тока утечки I_y и тока ионов, которые осаждаются на поверхность изолятора. О форме потенциала $U(x,b)$ можно сделать определенные выводы, измеряя потенциал $U(0,b)$ и ток утечки I_y .

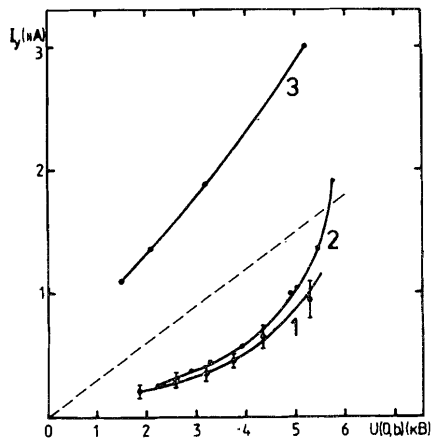


Рис. 3. Зависимость тока утечки от потенциала $U(0,b)$ в камере 1: 1/ в фоновых условиях вне зоны канала; 2/ на канале при $\Phi = 10^5$ частиц/сброс; 3/ при 10^6 частиц/сброс.

На камере $1/20 \times 30 \text{ см}^2$ измерялся ток утечки I_y и потенциал $U(0,b)$, при этом ось пучка проходит через анодную проволочку, длительность сброса $\sim 1 \text{ с}$, цикл ускорителя $\sim 8 \text{ с}$, диаметр пучка /мониторного сцинтилляционного счетчика/ - 8 см . Пунктиром на рис. 3 показана зависимость $U(0,b)/2I_y = R_v$, отвечающая однородному полю /см. рис. 1/, здесь R_v - сопротивление изолятора, определение которого описано в предыдущем разделе. Из рис. 3 видно, что кривая 1 /камера в фоновых условиях вне зоны канала/ и кривая 2 (камера в пучке интенсивностью 10^5 частиц/сброс) мало отличаются друг от друга и при небольших значениях $U(0,b)$ (или U_a) поверхность изолятора камеры незаряжена /как на рис. 1в/ в связи с недостаточно большим значением коэффициента газового усиления. Условие $U(0,b)/2I_y = R_v$ выполняется при $U(0,b) = 5600 \text{ В}$ (или $U_a \approx 7,5 \text{ кВ}$), которое мы выбрали в дальнейшем рабочим напряжением камер. Из поведения кривой 3, когда камера находилась в пучке с интенсивностью 10^6 частиц/сброс, видно, что при любом анодном напряжении поверхность изолятора камеры перезаряжена и распределение потенциала $U(x,b)$ принимает форму, как на рис. 1г. В каждой измеренной точке на графике достигнуто равновесное состояние, когда эффекты диффузии и тока утечки компенсируют друг друга. Покажем это на основании измерений в точке с $U_a = 7,5 \text{ кВ}$ ($U(0,b) = 5,7 \text{ кВ}$), при $\Phi = 10^5$ частиц/сброс, $I_{\text{ион}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ А}$, длительности сброса 1 с , цикле ускорителя 8 с имеем усредненный ионный ток $I_0 = I_{\text{ион}}/8 = 125 \text{ нА}$, откуда получим приближенную оценку тока диффузии $I_{\text{диф}} = I_0 \sigma_y(L)/2b = 125 \cdot 0,01 \cdot \sqrt{10}/2 \approx 2 \text{ нА}$, где поперечное смещение ионов $\sigma_y(x) = \sqrt{2D_{\perp}x/\mu_{\perp}E_d}$, $E_d = 570 \text{ В}$; $D_{\perp} = 0,04 \text{ см}^2/\text{с}$, $\mu_{\perp} = 1,7 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}^2$. Как видим, ток диффузии хорошо сходится с измеренным значением тока утечки $I_y = 1,9 \text{ нА}$.

Измерялась также важная характеристика безэлектродной дрейфовой камеры - постоянная времени утечки свободного заряда $\tau = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_v$, для наших камер $\tau = 4720 \text{ с}$. Она определяет время утечки свободного заряда при отключении анодного напряжения

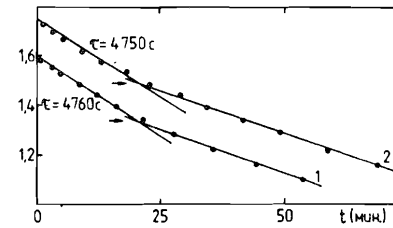


Рис. 4. Зависимость потенциала $U(0,b)$ от времени после отключения анодного напряжения: 1/ в камере 1 воздух, 2/ камера 1 продувается рабочей смесью газов. Стрелкой обозначены пересечения линий, соответствующих утечке свободного и связанного зарядов.

а, $T_y = \tau \ln[\epsilon_r / (\epsilon_r - 1)]$. Это получается из $Q_p = Q \exp(-T_y/\tau)$, для наших камер $T_y = 22 \text{ мин}$.

На рис. 4 приводится изменение потенциала $U(0,b)$ со временем после отключения анодного напряжения U_a . Измерения проведены на камере объемом $0,2 \times 0,3 \text{ м}^2$, причем кривая 2 соответствует случаю, когда камера продувалась газовой смесью $75\% \text{ Ar} + 25\% \text{ изобутана}$, а кривая 1 - воздухом. Несмотря на различие абсолютных значений $U(0,b)$ в обоих случаях видна точка излома на уровне $0,75$ от максимального значения $U(0,b)$, соответствующая времени окончания утечки свободного заряда, доля которого составляет 25% , что согласуется с измеренной для этого стеклотекстолита величиной $\epsilon_r = 4,1$. После точки излома происходит только деполяризация диэлектрика. Определенные на нове графика постоянные времени утечки свободного заряда $\tau_1 = 4760 \text{ с}$ и $\tau_2 = 4750 \text{ с}$ согласуются с расчетной величиной $\tau = 4720 \text{ с}$.

3. ВРЕМЯ ЗАРЯДКИ И РАЗРЯДКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯТОРА КАМЕР НА ПУЧКЕ И СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР

Важной характеристикой БДК является время стабилизации потенциала $U(0,b)$ при зарядке $T_{\text{зар}}$ (разрядке $T_{\text{раз}}$) поверхности меры, то есть при увеличении /уменьшении/ анодного напряжения U_a или интенсивности потока частиц Φ . Из рис. 5 видно, что $\Delta U = U_a - U(0,b)$, которое определяет газовое усиление, стабилизируется через $10-20 \text{ мин}$ после каждого увеличения анодного напряжения. Отметим, что при работе с камерами на пучке

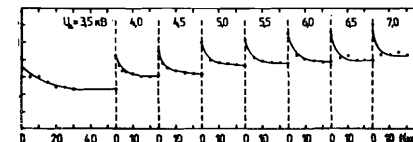


Рис. 5. Процесс стабилизации напряжения ΔU /камера 2/ при увеличении анодного напряжения.

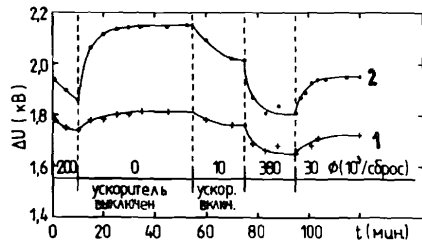


Рис. 6. Временная зависимость ΔU в камерах 1 и 2 при различной интенсивности потока частиц Φ .

нет необходимости выжидать полного равновесия в каждой точке, а $U_a = 7,5$ кВ устанавливается в течение 15 мин.

На рис. 6 показано изменение ΔU во времени при различной интенсивности потока частиц Φ . Из графика видно, что при увеличении /уменьшении/ Φ время установления равновесного состояния /ток ионов на поверхность камеры равняется току утечки/ $T_{зар} = 15$ мин совпадает со временем зарядки на рис. 5 ($T_{раз} = 20$ мин и сходится с расчетным временем утечки заряда $T_y = 22$ мин, приведенным в предыдущем разделе).

Камеры 1 и 2 работают в различных условиях. В камере 1 /20x30 см²/ пучок засвечивает существенную долю ее площади, в то время как в камере 2 /1x1 м²/ эта доля мала. В области вне пучка камеры работают на фоне мюонов $\Phi_\mu \sim 10$ с⁻¹см⁻² (при интенсивности пучка $\Phi = 10^5$ частиц/сброс). Из этого вытекает, что камера 1 по сравнению с камерой 2 заряжена по площади более равномерно, значение $U(0,b)$ у нее больше и соответственно ΔU меньше /см. рис. 6/. По той же причине колебания ΔU при изменениях потока частиц Φ меньше в камере 1, чем в камере 2.

Основные характеристики некоторых действующих безэлектродных дрейфовых камер приведены в таблице. Камеры, описанные в ссылках /1/ и /2/, предназначались для работы при нагрузках, близких к естественному фону, а камеры /5/ и /6/ - для экспериментов в условиях больших нагрузок на пучке ускорителя. Из таблицы видно, что большая грузочная способность в наших камерах достигнута благодаря:

а/ уменьшению длины дрейфа;

б/ увеличению расстояния между анодной провололочкой и поверхностью изолятора;

в/ использованию в качестве стенок камеры материала с меньшим /относительно камеры /2/ / удельным объемным сопротивлением ρ_v , т.е. увеличению тока утечки.

Еще одним преимуществом применения такого материала является меньшее значение константы разрядки τ , что делает камеру значительно более динамичной по отношению к изменениям анодного напряжения U_a и интенсивности потока частиц.

Правильный подбор материала и толщины стенок БДК позволил нам эффективно /> 95%/ работать при потоках частиц $\Phi = 4 \cdot 10^5$ /сброс, что соответствует равномерной плотности потока

Таблица

Место проведения испытаний	Манчестер /1/	Эгген /2/	Эгген (цикл.) /4/	Наши камеры	
				1x1 м ² /6/	20x30 см ² /5/
Длина анодной провололоч-ки l , см	60	50	1,4	100	30
Максимальная длина дрейфа L , см	15	25	14	10	10
Расстояние от анодной провололоч-ки до поверхн. изолятора b , см	1	0,75	1	1	1
Толщина изолятора d , мм	1,6	4	4	1,5	1,5
Радиус провололоч-ки r , мм	15	10	10	15	15
Потенциал анодной провололоч-ки U_a , кВ	6	15	4,7	7,5	7,5
Потенциал на изоляторе под анодн. провол.					
$U(a,b)$, кВ	-	13,4	2,5	5,5	5,7
Напряжение, определяющее КИУ ΔU , кВ	-	1,6	2,2	2,0	1,8
Время зарядки, экспер. $T_{зар}$, мин.	15-20	-	~5	~10	~10
Удельное объемное сопротивление ρ_v , Ом·м	>10 ¹⁴	5·10 ¹⁴	-	1,3·10 ¹⁴	1,3·10 ¹⁴
Сопротивл. материала стенок камеры ρ_v , Ом	-	4·10 ¹²	-	0,49·10 ¹²	1,625·10 ¹²
Диэлектр.пронц. изоля-тора ϵ_r	-	2,5	-	4,1	4,1
Емкость стенок камеры C , нФ	-	2,8	-	9,6	2,9
Ток утечки через поверхн. изолят. I_y , нА	-	1,7	-	5,6	1,75
		~2	-	-	1,9
Постоянная времени утечки своб.заряда τ , с	-	11002	-	4717	4717
Время утечки своб.заряда $T_{раз}$, мин.	-	94,2	-	22	22
		~100	~60	-	20
Плотность потока частиц при эфф.камере >95% Φ , част./см ² ·с	-	~100	~200	~1000	~1000

частиц $\sim 1000 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Это в 10 раз превышает загрузочную способность камеры /2/.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серия испытаний безэлектродных дрейфовых камер на пучках частиц, описанная в этой статье и в /5,6/, показала, что такие камеры могут эффективно работать в установках на выведенных пучках и на коллайдерах. Условием такой работы является выбор оптимальных геометрических размеров (L и l) ячейки камер, правильный подбор материала их стенок, обладающего не столь высоким удельным сопротивлением ($\rho_v \sim 10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и небольшой толщиной /1-1,5 мм/.

Авторы благодарны Ю.А.Будагову, В.М.Кутьину и В.Б.Флягину за поддержку в работе и ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allison J. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1982, 201, p.341.
2. Becker Ch., Weihs W., Zech G. - Nucl.Instr. and Meth., 1982, 200, p.335; 1983, 213, p.243.
3. Ayres D.S., Price L.E. ANL-HEP-82-34, 1982.
4. Dorr R., Grupen C., Noll A. - Nucl.Instr. and Meth., 1985, A238, p.238.
5. Budagov Yu.A. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1985, A238, p.245.
6. Budagov Yu.A. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1987, A255, p.493.
7. Акименко С.А. и др. ОИЯИ, 13-82-835, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 ноября 1987 года.

Артыков А.М. и др.

13-87-818

Параметры диэлектрика и формирование электрического поля в безэлектродных дрейфовых камерах

Приводятся результаты измерений параметров диэлектрика используемого в качестве стенок безэлектродных дрейфовых камер /БДК/. Обсуждается влияние параметров диэлектрика на динамический процесс формирования электрического поля в БДК в условиях различной интенсивности потока частиц. Сравняются характеристики различных БДК.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Artykov A.M. et al.

13-87-818

Dielectric Parameters and Electric Field Forming in Electrodeless Drift Chambers

The results of the measurements of dielectric material for electrodeless drift chambers (DC) are given. The influence of resistivity of material on dynamic processes of electric field forming inside the electrodeless DC under conditions of different particle flux is discussed. The characteristics of several electrodeless DCs are compared.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna-1987