

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-318

P13-99-318

М.Д.Шафранов, Т.П.Топурия

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ  
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ  
КАМЕР С ДИЭЛЕКТРИКОМ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1999

*Семь раз отмерь, один раз отрежь.*

Пословица

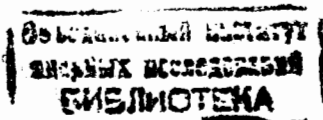
Постановка экспериментов на ускорителях встречных пучков предъявляет высокие требования ко всем видам детекторов, входящих в состав экспериментальной установки. Жесткость требований определяется большой множественностью исследуемых процессов, высокими радиационными нагрузками и необходимостью поддержания работоспособности всей установки без изменения ее эффективности в течение длительного времени. Последнее требование связано с отсутствием доступа к элементам установки практически на весь период эксперимента, который может продолжаться свыше десяти лет.

Высокие требования к работоспособности всех видов детекторов заставили пересмотреть подход к их проектированию и созданию. Несмотря на высокую стоимость, изготовлению рабочих детекторов предшествует создание опытных образцов с полным исследованием их свойств в условиях, близких к условиям эксперимента.

Обязательным этапом в подготовке экспериментов является численное моделирование как физических процессов, которые будут исследованы на установке, так и характеристик всех ее детекторов.

Для регистрации мюонов в эксперименте CMS (The Compact Muon Solenoid) на ускорителе LHC ЦЕРН создается система CSC (Cathode Strip Chambers) [1].

В составе системы CSC предполагается изготовление мюонных камер семи типов: ME1/2, ME1/3, ME2/1, ME3/1, ME4/1, ME1/3, ME234/2. Общее число камер, подобных по конструкции, – 468. Каждая камера имеет форму трапеции. Максимальные размеры камер: длина - 3,4 м и ширина - 1,5 м. Камеры объединены в блоки по 6 камер одного типа. Высокое напряжение будет подаваться непосредственно на сигнальные проволочки, расположенные параллельно основанию трапеции. Объем камеры делится на 5 сегментов. Сегменты отделены друг от друга защитной пластиной из диэлектрика.



Одной из плоскостей катода камеры служит фольгированный стеклотекстолит. Информация о прошедших через систему детекторов частиц считывается с сигнальных проволочек, а также с полосковых электродов - стрипов, образующих вторую катодную плоскость. Стрипы предназначены для измерения координат частицы вдоль сигнальных проволочек. Часть камеры в сечении вблизи диэлектрической защитной пластины схематически показана на рис. 1а. Ее геометрические характеристики: расстояние между поверхностями катода - 9,525 мм, диаметр сигнальных проволочек - 50 мкм, расстояние между проволочками - 3,169 мм, размеры пластины в сечении - 8×3,175 мм<sup>2</sup>.

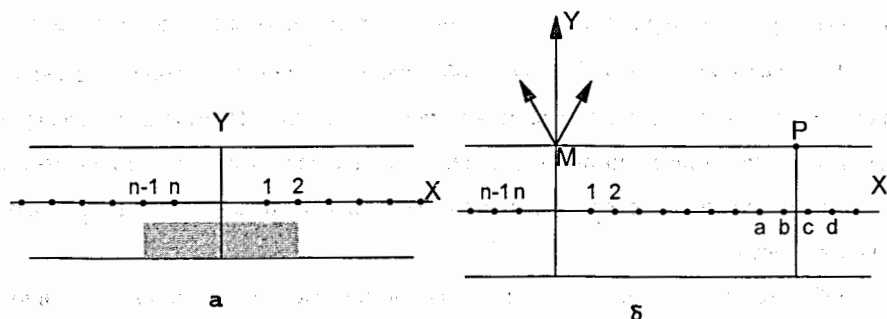


Рис. 1 а) Схема участка пропорциональной камеры в области диэлектрической защитной пластины. Две проволочки около центра пластины отсутствуют. Пластина диэлектрика изображена прямоугольником.  
б) Схема, поясняющая образование нормальной составляющей электрического поля зарядами двух проволочек  $n$  и  $1$  в точке  $M$  катодной плоскости, находящейся против центра диэлектрической пластины. Точка  $P$  катодной плоскости находится на равном расстоянии между проволочками  $c$  и  $d$ .

Две проволочки в районе центральной части пластины камеры отсутствуют, как это и изображено на рисунке.

Каждая плоскость анодных проволочек блока камер соединена с отдельным источником высокого напряжения. Разделение проволочек одной плоскости на 5 сегментов должно обеспечить отключение любого сегмента от источника в случае возникновения проблемы шумов, поскольку их появление затруднит катодное считывание координатной информации.

Защитным диэлектрическим пластинам между сегментами авторами такого типа камеры отводилась определенная роль. Она основывалась на следующем

утверждении авторов проекта камер: “ Когда включено высокое напряжение, эти защитные пластины из изолятора *заряжаются положительно* и, конечно, *уменьшают электрическое поле* крайних проволочек. Возникающая при этих процессах *мертвая зона* не должна превышать по ширине 25 мм ” [2].

Рассмотрим последовательно проблемы электростатики проектируемых камер и соответствие приведенного утверждения законам электростатики.

## 1. Электростатика камер с диэлектриком в рабочем объеме

1. Начнем с анализа электростатики камеры без диэлектрика с регулярным расположением проволочек. Пусть катодные плоскости камеры находятся под нулевым потенциалом при данном напряжении на проволочках  $U_0$ . Все проволочки камеры, за исключением крайних, имеют равные заряды [3]. На основании законов электростатики потенциал любой из проволочек является суммой потенциалов от заряда самой проволочки, зарядов остальных проволочек и распределенных зарядов катодной плоскости, имеющих знак, противоположный знакам зарядов проволочек.

Уберем две проволочки слева и справа от центра места размещения защитной диэлектрической пластины. При этом потенциал на всех оставшихся проволочках камеры оставим без изменения. Слева от проволочки  $1$  и справа от проволочки  $n$  заряды отсутствуют. Для восстановления первоначального значения потенциала в камере без защитной пластины крайние проволочки  $n-1$ ,  $n$ ,  $1$  и  $2$  (рис. 1а), а также несколько ближайших получают дополнительный заряд по сравнению с зарядами регулярно расположенных проволочек центральной зоны (рис. 2). Отсутствие двух проволочек приводит к изменению и поверхностной плотности отрицательного заряда плоскости катода. Промежуток плоскость проволочек – катод можно рассматривать как подобие плоского конденсатора. Изменение плотности заряда одной из поверхностей конденсатора ведет к такому же изменению плотности заряда другой поверхности. По аналогии с конденсатором увеличение зарядов проволочек  $n-1$ ,  $n$ ,  $1$  и  $2$  должно привести к увеличению локальной плотности заряда части катодной плоскости, находящейся напротив места убранных проволочек. На

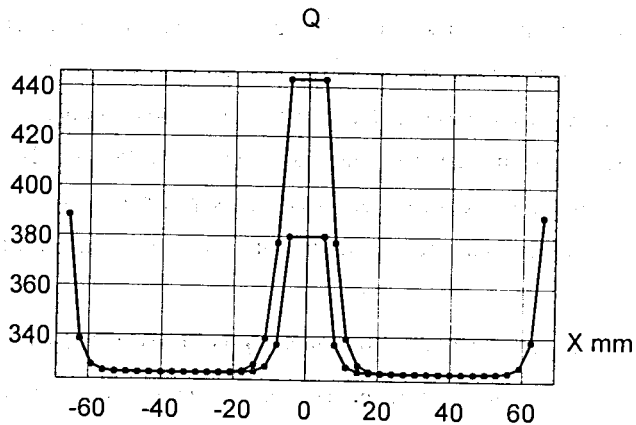


Рис. 2. Распределение зарядов анодных проволочек камеры после удаления двух проволочек. Нижнее распределение – случай без защитной пластины. Верхнее распределение – пластина, диэлектрическая проницаемость которой  $\epsilon = 4$ , размещена в объеме камеры.

самом деле поверхностная плотность заряда катода уменьшится. Локальная поверхностная плотность заряда на проводнике и электрическое поле на его поверхности связаны соотношением  $E_n = \sigma/\epsilon_0$ . Здесь  $E_n$  - проекция вектора  $E$  на внешнюю нормаль по отношению к проводнику, т.е. нормальная составляющая, а  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная. Схема, поясняющая образование нормальной составляющей  $E_n$  на катодной плоскости в точке  $M$  при значении  $X=0$  между проволочками  $n$  и  $1$ , приведена на рис.1 б. Точка  $M$  находится на поверхности катодной плоскости, поэтому заряды плоскости не вносят вклада в величину  $E_n(M)$ . Эта составляющая полностью обязана зарядам проволочек  $n$  и  $1$ , а также соседних. В качестве точки наблюдения возьмем точку катодной плоскости  $P$  между проволочками в районе их регулярного расположения.

В этой точке  $P$  в величину нормальной составляющей  $E_n$  дополнительно по сравнению с точкой  $M$  дают заряды проволочек  $b$  и  $c$ , следовательно,  $E_n(M) < E_n(P)$ . Таким образом, удаление двух проволочек приводит к уменьшению локальной поверхностной плотности заряда катода (рис. 3).

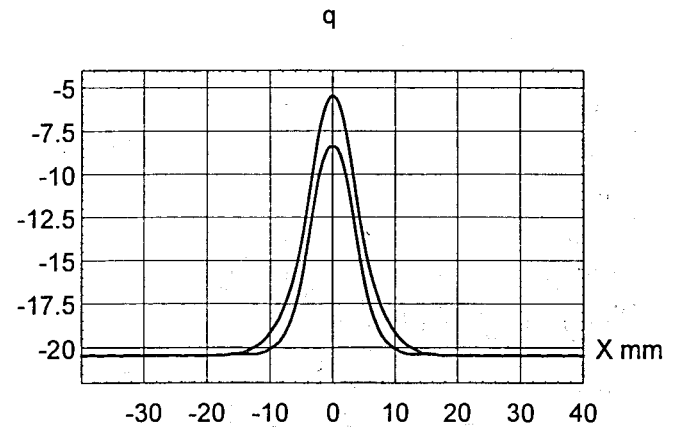


Рис. 3. Поверхностная плотность заряда катодной плоскости в области диэлектрической пластины. Верхняя кривая – случай без пластины, нижнее распределение – пластина диэлектрика находится в объеме камеры. Присутствие диэлектрика ведет к уменьшению поверхностной плотности заряда.

С увеличением расстояния от центра  $M$  влияние увеличившихся зарядов проволочек будет постепенно уменьшаться. Поэтому на некотором расстоянии от центра  $M$  уменьшение зарядов проволочек приводит в среднем к уменьшению поверхностной плотности заряда катода, и наоборот. На этот общий характер распределения поверхностной плотности заряда заметное влияние оказывает дискретность зарядов проволочек. Точно напротив каждой проволочки локальная поверхностная плотность отрицательного заряда будет выше, чем поверхностная плотность заряда напротив центра промежутка между проволочками (рис. 4). Приведенные выше рассуждения объясняют это полностью.

2. Система катод – проволочки является конденсатором. Пусть он заряжен первоначально до потенциала  $U_0$  и отсоединен от источника зарядов. Введем диэлектрик в объем этого конденсатора, потенциал на обкладках этого конденсатора уменьшится: при отключенном источнике напряжения число зарядов не изменяется. На стороне диэлектрика, ближайшей к катоду, появляются положительные индуцированные заряды. На стороне, ближайшей к плоскости проволочек, появляются отрицательные индуцированные заряды.

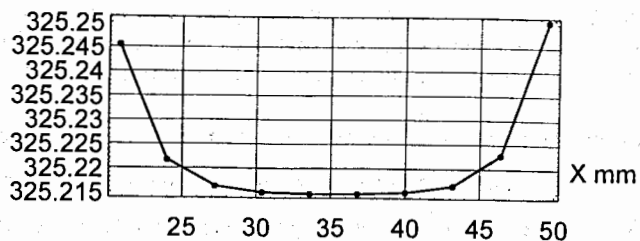
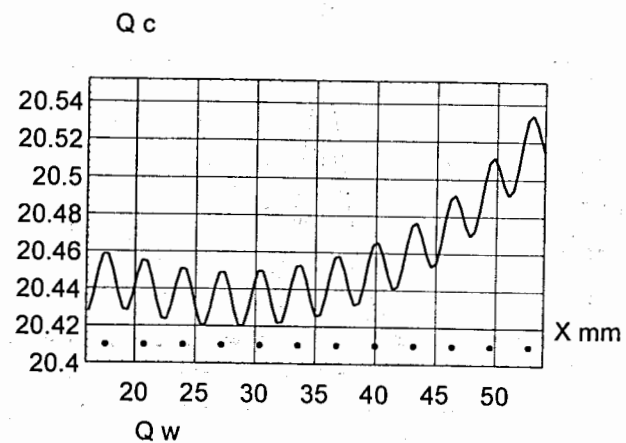


Рис. 4. Распределение поверхностной плотности заряда  $Q_c$  катодной плоскости вне области диэлектрической пластины и в ее отсутствие в увеличенном масштабе (верхний рисунок). Точками обозначено положение анодных проволочек. Структура распределения обязана дискретному положению зарядов проволочек.

В среднем тенденция распределения следует распределению зарядов  $Q_w$  анодных проволочек в этой области. Распределение зарядов  $Q_w$  показано на нижнем рисунке.

При восстановлении величины потенциала до значения  $U_0$  увеличится линейная плотность положительных зарядов проволочек (рис.2) и, как следствие этого, увеличится поверхностная плотность отрицательного заряда диэлектрика на стороне, обращенной к проволочкам. Индуцированные отрицательные заряды на диэлектрике приводят к уменьшению поверхностной плотности заряда катодной плоскости в районе диэлектрика (рис. 3).

В терминологии силовых линий поля увеличение положительных зарядов проволочек ведет к увеличению числа силовых линий поля, начинающихся на

проволочке и заканчивающихся на диэлектрике. Последнее объясняется тем, что в рассматриваемой геометрии расстояние от проволочек до поверхности диэлектрика меньше расстояния между плоскостью проволочек и катодом.

Изменение поверхностной плотности заряда катодной плоскости в камере с диэлектриком при отсутствии двух проволочек происходит в основном в области расположения диэлектрика. В этой области поверхностная плотность заряда будет полностью определяться зарядами проволочек, находящихся вблизи диэлектрика, и его поверхностной плотностью заряда. Постепенно влияние этих факторов на формирование локальной поверхностной плотности заряда катода уменьшается (рис. 5).

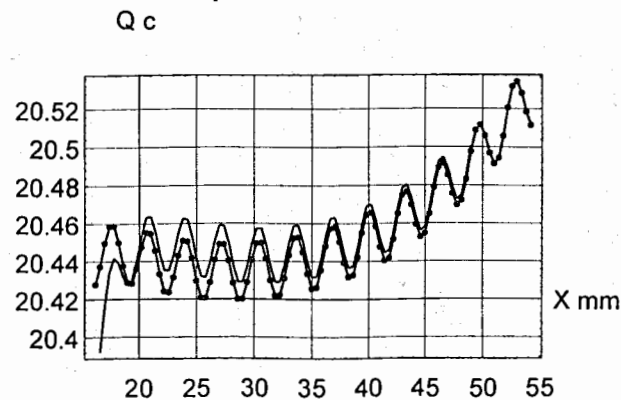


Рис. 5. Распределение поверхностной плотности заряда катодной плоскости вне области диэлектрической пластины в ее отсутствие (кривая с точками). Для сравнения показано распределение поверхностной плотности заряда катодной плоскости в присутствии диэлектрической пластины в объеме камеры. Диэлектрик влияет на распределение поверхностной плотности заряда катода вплоть до расстояния 50 мм от центра диэлектрика.

3. Величина зарядов проволочек вблизи диэлектрика зависит от его диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ . Мы имеем дело с протяженным диэлектриком с плоской поверхностью, в этом случае локальная плотность индуцированных зарядов  $\sigma(\epsilon) \sim E_{on}(\epsilon-1)/\epsilon$ . В этом выражении  $E_{on}$  является проекцией электрического поля сторонних зарядов на внешнюю нормаль к

поверхности диэлектрика. Поэтому знак зарядов поверхности диэлектрика, ближайшей к анодным проволочкам, противоположен знаку зарядов проволочек. Из соотношения  $\sigma(\epsilon) \sim E_{on}(\epsilon-1)/\epsilon$  следует, что с увеличением диэлектрической проницаемости происходит насыщение поверхностной плотности заряда диэлектрика. Этот факт отражает характер распределения зарядов проволочек, находящихся вблизи диэлектрической пластины камеры, который приведен на рис. 6. Вычисления выполнены для интервала величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от  $\epsilon=1$  (отсутствие диэлектрика) до значения  $\epsilon=6$ .

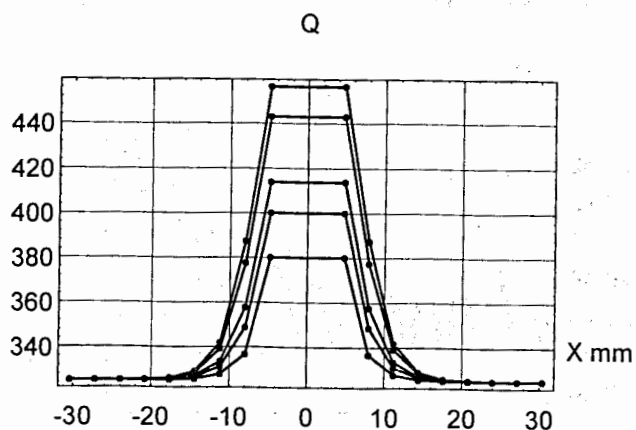


Рис. 6. Распределение зарядов анодных проволочек камеры в зависимости от диэлектрической проницаемости защитной пластины. Нижнее распределение - отсутствие защитной пластины. Остальные распределения (снизу вверх) отвечают случаям с использованием защитной пластины, диэлектрическая проницаемость которой равна  $\epsilon=1,5$ ;  $\epsilon=2$ ;  $\epsilon=4$  и  $\epsilon=6$  соответственно.

4. В пропорциональных камерах с эквидистантным расположением проволочек зоной чувствительности в сечении является прямоугольник. Удаление проволочек и присутствие диэлектрика меняют форму зоны только для трех крайних проволочек (рис. 7). С увеличением диэлектрической проницаемости пластины форма зоны деформируется. Максимальное изменение происходит для случая увеличения диэлектрической проницаемости до значения  $\epsilon \rightarrow \infty$ , это соответствует использованию проводника вместо

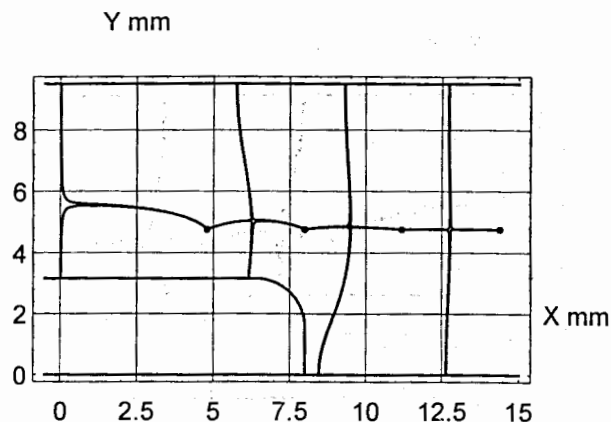


Рис. 7. Форма рабочих ячеек трех первых проволочек пропорциональной камеры в районе диэлектрической защитной пластины. Диэлектрик показан в левом нижнем углу рисунка. Рабочие ячейки имеют стандартную прямоугольную форму, начиная с четвертой проволочки

диэлектрика. Различие для случая диэлектрика ( $\epsilon = 4$  рис. 7) и проводника (рис.8) не очень существенно. Сказывается явление насыщения индуцируемых зарядов на поверхности пластины. О характере распределения потенциала в районе первых четырех проволочек можно судить по рис. 9.

5. Знак зарядов поверхности диэлектрика, ближайшей к анодным проволочкам, противоположен знаку зарядов проволочек. Поверхность диэлектрика заряжена отрицательно. Поверхностная плотность индуцированного заряда диэлектрика определяется его формой, диэлектрической проницаемостью и граничными условиями на поверхностях катодных плоскостей и проволочек.

На рис. 10 показана карта линий поля в районе диэлектрика. Линии электрического поля проволочек 1 и 2, заканчивающиеся на поверхности диэлектрика в точках с и f, соответствуют векторам электрического поля, направленным по линиям, параллельным оси ординат. Остальные линии поля соответствуют повороту вектора на  $60^\circ$ .

Локальная поверхностная плотность индуцированного заряда  $\sigma(\epsilon) \sim E_{on}$ . Поэтому мы можем судить о поверхностной плотности заряда по плотности

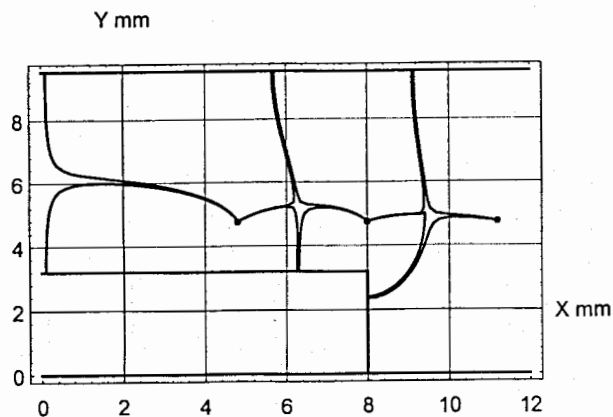


Рис. 8. Форма рабочих ячеек первых проволочек пропорциональной камеры в районе защитной пластины из проводника.

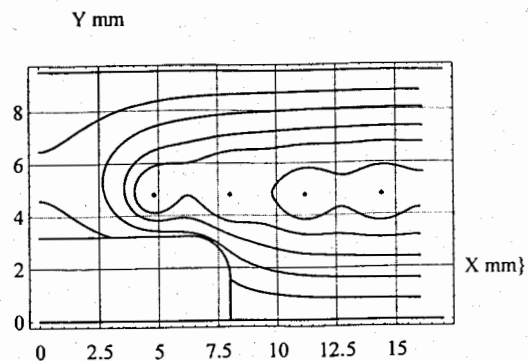


Рис. 9. Карта эквипотенциалей в районе диэлектрической пластины при нулевом потенциале катода. Кривые соответствуют потенциалам 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 В. На сигнальные проволочки подано напряжение 5 кВ. Сгущение линий потенциала между первыми двумя проволочками и диэлектриком - свидетельство увеличения электрического поля в этом месте.

линий поля. При этом, конечно, нельзя забывать, что  $E_{0n}$  - нормальный компонент электрического поля. Плотность линий поля увеличивается от точки а до точки d, далее происходит некоторое уменьшение их плотности до середины интервала о - е, после небольшого увеличения от середины интервала о - е до точки f снова происходит уменьшение плотности линий поля.

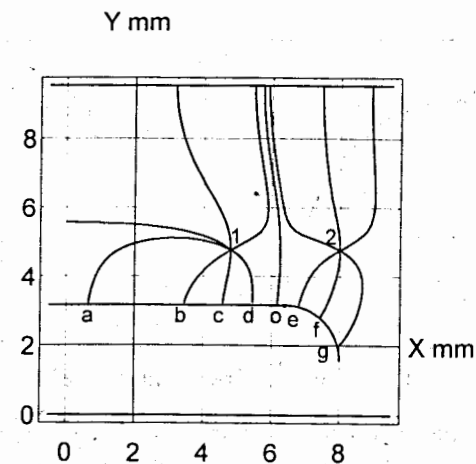


Рис. 10. Карта линий поля первых двух проволочек в районе диэлектрика. Линии с и f соответствуют направлению поля по нормали к катодной плоскости, остальные проведены через  $60^\circ$ . Линия поля первой проволочки без обозначения - граница между областью силовых линий, заканчивающихся на диэлектрике, и областью линий, идущих к катоду.

Приведенные рассуждения поясняют распределение поверхностной плотности заряда по диэлектрику, которое показано на рис. 11.

6. Присутствие диэлектрика в рабочем объеме пропорциональной камеры ведет к изменению его поверхностной плотности заряда за счет аккумуляции положительных ионов на поверхности диэлектрика. Процесс накопления носит временной характер. Следовательно, будет изменяться со временем и коэффициент газового усиления.

Положительные заряды ионов являются сторонними зарядами на поверхности диэлектрика с поверхностной плотностью  $\sigma$ . В этом случае на поверхности диэлектрика действуют следующие граничные условия:  $\epsilon_2 E_{2n} - \epsilon_1 E_{1n} = \sigma$ . Для рассматриваемого случая  $\epsilon_1$  - диэлектрическая проницаемость газовой смеси, а  $\epsilon_2$  - диэлектрическая проницаемость пластины.

Процесс зарядки поверхности диэлектрика и его разрядки характеризуется постоянной времени  $\tau = \epsilon r$  ( $r$  - удельное сопротивление). При этом возможно наступление динамического равновесия. Режим динамического равновесия

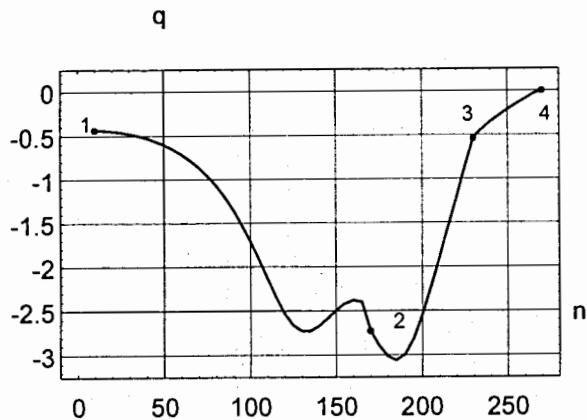


Рис. 11. Распределение поверхностной плотности заряда вдоль поверхности диэлектрика. Точка 1 соответствует его середине, точка 2 – началу закругления. На участке между точками 3 и 4 показано распределение поверхностной плотности заряда остальной части поверхности.

зависит от диэлектрической проницаемости рабочей смеси газа и проницаемости диэлектрика, а также от их удельных сопротивлений. В случае равенства постоянных времени  $\tau_1 = \tau_2$  на поверхности диэлектрика накопления ионов не происходит. В режиме равновесия устанавливается токовый баланс:  $E_{2n}/r_2 - E_{1n}/r_1 = 0$  [4].

Следствием увеличения заряда проволочек, находящихся в районе диэлектрика, является увеличение коэффициента газового усиления. Изменение коэффициента газового усиления  $M$  можно оценить из выражения  $M = K \exp Q$ , в котором  $Q$  - линейная плотность заряда проволочки,  $K$  - постоянная [5]. После дифференцирования получим величину относительного изменения коэффициента газового усиления  $\Delta M/M = (\Delta Q/Q) \ln M$ . Для случая, когда диэлектрическая проницаемость пластины  $\epsilon = 6$ , увеличение линейной плотности заряда 1-ой проволочки (рис. 1а)  $\Delta Q = 130$ , а линейная плотность заряда проволочек с регулярным расположением  $Q = 325$  (рис. 6). Следовательно, при коэффициенте газового усиления  $M = 10^5$  получим  $\Delta M/M = 4,6$ . Для газового усиления  $10^6$   $\Delta M/M = 5,5$ . Такие изменения коэффициента газового

усиления соответствуют увеличению потока частиц, которые регистрируются проволочкой.

7. В [6] показано, что при больших потоках частиц, приходящихся на проволочку, ее поверхность покрывается посторонними отложениями. Эти отложения могут привести к сокращению плато и явиться причиной пробоев. Близко расположенный диэлектрик из стеклотекстолита может стимулировать процесс высадки отложений на поверхность проволочки.

Остается открытым вопрос о взаимодействии положительно заряженных ионов с поверхностью диэлектрика. Известно, что нестабильность работы газовых детекторов, работающих в стримерном режиме, является следствием резистивного покрытия катода. С увеличением сопротивления катода прекращение стабильного режима связано с появлением голубого свечения вокруг проволочки. Такой "глеющий" разряд возникает первоначально в одной точке проволочки и постепенно захватывает ее всю. Он прекращается только после снятия напряжения. При сопротивлении 3 МОм на квадрат возникновение "глеющего" разряда начиналось до режима эффективной регистрации [7].

## 2. О методе решения задачи

Выше было дано описание электростатики камеры с диэлектриком в рабочем объеме. Для объяснения и иллюстрации процессов нами было выполнено численное моделирование электрических полей и потенциалов. Моделирование проведено на основе методов решения задач электростатики, разработанных авторами настоящей публикации для систем проводников и диэлектриков [8, 9]. В этих методах используется система вспомогательных зарядов, размещаемых внутри проводников, снаружи и внутри диэлектриков. Вспомогательные заряды обеспечивают выполнение граничных условий. Их величины и знаки определяются итеративным способом или решением системы алгебраических линейных уравнений. Граничным условием для проводников являются задаваемые потенциалы их поверхностей. На границах диэлектриков должны выполняться два условия для тангенциальных  $E_{t1} = E_{t2}$  и нормальных



$\epsilon_1 E_{n1} = \epsilon_2 E_{n2}$  компонентов электрического поля [10]. Диэлектрические проницаемости сред 1 и 2 обозначены, соответственно, как  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ .

Равенство тангенциальных составляющих электрического поля на поверхности раздела диэлектриков означает непрерывность потенциала. Приведенное соотношение для нормальных компонентов поля является следствием скачка нормального компонента электрического поля на поверхности раздела.

При моделировании величина диэлектрической проницаемости принималась равной четырем, т.е.  $\epsilon_2 = 4$ . Величина проницаемости рабочей газовой смеси равнялась проницаемости вакуума  $\epsilon_1 = 1$ . В дальнейшем под величиной  $\epsilon$  понималась диэлектрическая проницаемость пластины изолятора. При решении задачи применялся метод линейных алгебраических уравнений и метод изображений. Отображение вспомогательных зарядов проводилось относительно катодной плоскости с нулевым потенциалом, ближайшей к диэлектрику. Это позволило полностью исключить из рассмотрения заряды этой катодной плоскости и заряды поверхности диэлектрика, прилегающей к катоду. В соответствии с требованиями применяемого метода решения на проволочках в качестве граничных условий задавался потенциал  $U_0 = 5$  кВ, а на их изображениях - потенциал обратного знака. На поверхности катодных плоскостей задавался нулевой потенциал. Для граничного условия на поверхности диэлектрика в соотношении  $E_{2n} = \epsilon E_{1n}$  можно только задать величину диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ . Компоненты электрического поля на поверхности диэлектрика являются неизвестными величинами. Они зависят от формы и места нахождения диэлектрика в поле проводников. При решении задачи принималось значение  $\epsilon = 4$ . Величины и знаки всех вспомогательных зарядов определялись решением системы уравнений. Эти заряды должны обеспечить выполнение задаваемых граничных условий на поверхности проводников, а также обеспечить выполнение условий  $E_{2n} = \epsilon E_{1n}$  в любой точке поверхности диэлектрика. Схема размещения основных вспомогательных

зарядов и зарядов изображения проводников и диэлектрика, которые необходимо найти для удовлетворения всем граничным условиям решаемой задачи, приведена на рис. 12.

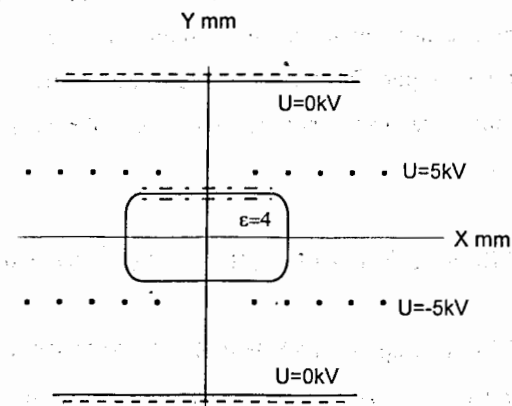


Рис. 12. Схема размещения вспомогательных зарядов для решения задачи. Вдоль плоскости катода они показаны штриховыми линиями. Вспомогательные заряды внутри и вне диэлектрика показаны штрихпунктиром. Для решения задаются координаты всех вспомогательных зарядов, задаются потенциал катода, потенциал анодных проволочек и величина диэлектрической проницаемости диэлектрической защитной пластины. Пластина и ее изображение показаны в центре рисунка.

### 3. Выводы

Рассмотрение электростатики пропорциональных камер конфигурации, предложенной в [1], показывает ошибочность концепции, лежащей в основе конструкции камер, поскольку она противоречит законам электростатики.

Применение диэлектрической пластины ведет не к уменьшению зарядов проволочек камеры, расположенных около диэлектрика, а, наоборот, к их увеличению. Следствием этого является неустойчивость режима работы камер в процессе длительного эксперимента. Неустойчивость режима приведет к изменению рабочих характеристик детектора в целом.

## Заключение

Авторы благодарны И.М. Граменицкому за постоянный интерес к работе, В.Д. Пешехонову за содействие, М.Г. Шафрановой за научное редактирование.

Нам приятно поблагодарить Л.Н. Глонти, из обсуждений с которым возникло желание разобраться в задаче о влиянии диэлектрических элементов на свойства многопроволочных детекторов. Это желание в конечном итоге привело авторов публикации к решению задачи электростатики настоящей работы.

## Литература

- [1] CMS, Technical Design Report. CERN/LHC 97-32, CMS TDR 3(1997) 148-164.
- [2] CMS, Technical Design Report. CERN/LHC 97-32, CMS TDR 3(1997) 161.
- [3] Шафранов М.Д. Краевые эффекты в многопроволочных пропорциональных камерах. Краткие сообщения ОИЯИ № 6(74)-95, Дубна (1995). 21-34.
- [4] Fang R., Blaes R., et al., Nucl. Instr. and Meth. A365 (1995) 59-64.
- [5] Sauli F. Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers. В книге Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics, Edited by Thomas Ferbel. World Scientific, Singapore (1991). 129-130.
- [6] Turala M., Vermeullen J.C. Ageing Effects in Drift Chambers, Nucl. Instr. and Meth. 205 (1983) 141-144.
- [7] Filatova N.A., Golovatyuk V.M. et al., Some Features of Stream Tube Operation, Nucl. Instr. and Meth. A261 (1987) 481-486.
- [8] Топурия Т.П., Шафранов М.Д. Диэлектрик в электростатическом поле. Решение краевых задач методом линейных алгебраических уравнений. Сообщение ОИЯИ P11-99-155, Дубна (1999) 1-14.
- [9] Топурия Т.П., Шафранов М.Д. Краевые эффекты в пропорциональной камере. Влияние диэлектрической рамки. Краткие сообщения ОИЯИ № 5(74)-99, Дубна (1999) 1-10.
- [10] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука (1992) 57-70.

Рукопись поступила в издательский отдел

8 декабря 1999 года.

Шафранов М.Д., Топурия Т.П.

P13-99-318

Проблемы электростатики многопроволочных пропорциональных камер с диэлектриком в рабочем объеме

Приводятся результаты исследования электростатических свойств многопроволочных пропорциональных камер (МППК) с защитной диэлектрической пластиной внутри рабочего объема. Такие камеры были предложены в качестве одного из вариантов мюонных станций торцовых детекторов для установки CMS ускорителя LHC ЦЕРН. Показано, что концепция, лежащая в основе конструкции камер, противоречит законам электростатики. Камеры с защитной пластиной именно такой конструкции не могут обеспечить длительного устойчивого режима работы.

Исследования проведены методом нахождения вспомогательных зарядов, обеспечивающим выполнение граничных условий на поверхностях проводников и диэлектриков. Величины вспомогательных зарядов находятся решением системы линейных уравнений. Метод предложен авторами настоящей публикации и описан ими в более ранних работах.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Shafranov M.D., Topuria T.P.

P13-99-318

Electrostatics Problems of Multiwire Proportional Chambers with Dielectric in the Operational Volume

We describe the results of investigations of electrostatic properties of multiwire proportional chambers (MWPC) having a guard dielectric strip inside the operational volume. These chambers were proposed as one of the versions of endcap muon chambers for the SMC set-up of the LHC accelerator at CERN. It was shown that the idea, which is in the principles of the chamber construction contradicts the laws of electrostatics. The chambers having the guard strip of this very construction are not able to provide a timeproof of operation.

The solution of problem was fulfilled by the auxiliary charge finding method which provides the requirements of boundary conditions on the surface of conductors and dielectrics. The charge values are determined by the solution of the linear equation system. This method was proposed by the authors of this publication and had been described in their previous papers.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1999