

УДК 539.1.074.23

КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ В МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕРАХ

М.Д.Шафранов

Применявшиеся до сих пор методы расчета полей и потенциалов в рабочем объеме многопроводочных пропорциональных камер (МППК) выполнены в предположении, что сигнальные проводочки камеры не ограничены как по числу, так и по длине. По этой причине данные о краевых эффектах этих камер не могли быть получены. В настоящей работе на основе специально разработанного метода компьютерного моделирования впервые получены электрические характеристики планарных МППК конечных размеров, в том числе на краях камер. Расчеты позволили определить область камеры, в которой краевые эффекты играют заметную роль.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Edge Effects in Multiwire Proportional Chambers

M.D.Shafranov

Earlier, the methods to calculate the fields and potentials in the working volume of multiwire proportional chambers (MWPC) have been used supposing the number of the sense wires and their length to be unlimited. That is why the data on the edge effects of these chambers could not be obtained. This work shows the electric features of the planar MWPC of the limit sizes including the chamber edges, received with a specially developed method of computer modelling. The calculations allowed one to determine the chamber parts where the edge effects are significant.

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

1. Введение

Достижения современной физики высоких энергий и элементарных частиц обязаны успехам в развитии методов эксперимента, связанных в первую очередь с использованием позиционно-чувствительных, или координатных, детекторов. В качестве основных координатных детекторов в экспериментальной физике элементарных частиц свыше четверти века применяются многопроводочные пропорциональные камеры (МППК) [1—3]. Многопроводочные камеры, применяемые как детекторы заряженных частиц, успешно используются и для регистрации нейтральных частиц [4]. Функцией координатного детектора является преобразование ионизационного эффекта, создаваемого заряженной частицей, проходящей через активную среду детектора, в электрический сигнал. Требование к детектору — максимально возможная эффективность и минимальные ошибки в получаемой пространственной и временной информации.

Основными составными элементами МППК являются механическая структура, электродная система и газовое наполнение. Электродная система состоит из двух параллельных катодных плоскостей, расположенных на расстоянии $2l$. Между катодными плоскостями эквидистантно размещены сигнальные проволочки, находящиеся на расстоянии s друг от друга. Электродная система обеспечивает дрейф первичных электронов, создаваемых детектируемой частицей за счет ионизации, и работу механизма газового усиления в окрестности конкретной сигнальной (анодной) проволочки камеры. В окрестность сигнальной проволочки из-за структуры электрического поля могут попасть первичные электроны ионизации только из ограниченного пространства, поэтому электрический сигнал несет и координатную пространственную информацию.

Первые исследования планарных МППК и их эксплуатация показала, что с увеличением на камере рабочих напряжений растет число шумовых импульсов на крайних проволочках, возможно и появление искровых разрядов. Чтобы свести такие явления к минимуму, были разработаны различные меры, например, применение охранных рамок, постепенное увеличение диаметров нескольких крайних проволочек к краям камеры. В некоторых случаях применялась изоляция крайних проволочек, которые вследствие этого приобретали плавающий потенциал [5].

Были проведены расчеты конфигурации электрических полей в планарных МППК. Они выполнены в предположении, что камеры не ограничены как по числу сигнальных проволочек, так и по своим размерам вдоль сигнальных проволочек [6]. Расчеты сыграли важную роль в понимании того факта, что каждая проволочка камеры работает как независимый счетчик. Эти же расчеты показали, как изменение диаметра одной из проволочек, смещение проволочки влияет на физические характеристики камер. Они позволили оценить необходимые механические допуски при изготовлении камер. Вместе с тем такие расчеты [6—8] в принципе не могут дать информации о краевых эффектах. На это было указано еще в [9]. К краевым эффектам относится изменение величины и конфигурации электрического поля на краях электродов, образующих катод камеры, как вдоль крайних проволочек камеры, так и на концах всех сигнальных проволочек. Конфигурация и величина электрических полей на краях камеры по сравнению с тем, что имеет место в центральной области, связаны с диэлектрическими свойствами механических структур камеры. К таким механическим структурам относятся диэлектрические рамки. Наибольшие изменения электрического поля вдоль крайних проволочек связаны с увеличением емкости проволочек в указанных выше областях рабочего объема камеры. Это утверждение будет подтверждено результатами моделирования, приведенными ниже.

Моделирование выполнено по специально разработанному для данного случая алгоритму. Он основан на методе изображений, или точнее, на методе решений задач электростатики по граничным условиям [10]. Рассмотрим некоторые результаты компьютерного моделирования электрических полей и потенциалов пропорциональной камеры конечных размеров *с ограниченным числом анодных проволочек*.

Объектом моделирования служила многопроволочная пропорциональная камера, образованная из проволочек диаметром 20 мкм. Расстояние l между плоскостью сигнальных проволочек и катодом составляло 8 мм, а расстояние между проволочками (шаг намотки) s было равно 2 мм. Рабочая площадь камеры из 83 проволочек

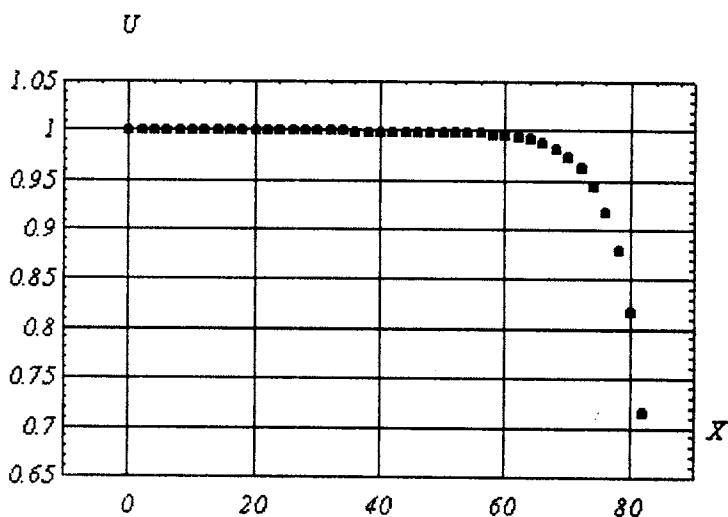


Рис.1. Разность потенциалов U проволока—катод в зависимости от положения проволоки. Линейные плотности зарядов всех проволок одинаковы. Диаметры всех проволок одинаковы и равны 20 мкм. $X = 0$ соответствует центру камеры

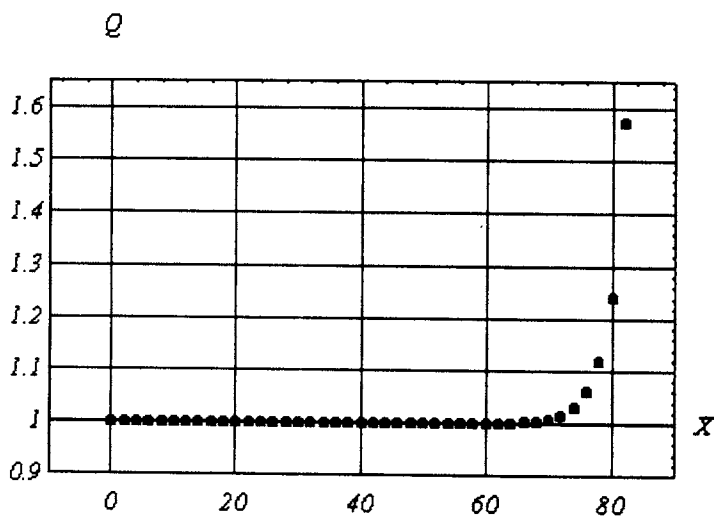


Рис.2. Величина заряда Q на проволоке в зависимости от ее положения. Разность потенциалов проволока — катод одинакова для всех проволок. Диаметры всех 83 проволок одинаковы

$\approx 160 \times 160$ мм. Величины s и l выбраны так, чтобы была возможность сравнить характеристики этой камеры с характеристиками камер, не ограниченных по своим размерам [6,11].

Смоделируем самый простой случай, когда заряды всех проволочек одинаковы. Определим разность потенциалов промежутка катодная плоскость — сигнальная проволочка для каждой проволочки камеры. Результат расчета представлен на рис.1. Система координат выбрана следующим образом: ось OX лежит в плоскости проволочек и перпендикулярна им, координата $X = 0$ соответствует центру камеры, через который проходит центральная проволочка. Видно, что чем ближе к одному из краев камеры, тем меньше относительная разность потенциалов промежутка проволочка — катод. Для крайних проволочек она резко падает, доходя до 70% от значения в центральной области камеры. С физической точки зрения интерпретация полученного результата довольно проста. Вспомним соотношение между зарядом на проводнике q , его потенциалом V и емкостью C : $q = CV$. Из этого соотношения следует, что при равенстве зарядов проволочек между собой уменьшение потенциалов крайних проволочек связано только с увеличением емкости крайних проволочек. Увеличение емкости крайних проволочек приводит к росту их заряда, к усилению электрического поля в окрестности этих проволочек, отсюда возможные нежелательные последствия усиления поля. Ограничения диапазона рабочих напряжений на камере для уменьшения роли краевых эффектов эквивалентно сокращению области плато по напряжению.

Значения емкостей проволочек можно найти, выполнив вычисления величин зарядов каждой проволочки так, чтобы разность потенциалов $U(i)$ между любой i -й проволочкой и катодной плоскостью была постоянна, что и соответствует нормальному рабочему режиму камеры. Результаты вычислений величин зарядов при точности вычислений $U(i) = 1,0 \pm 0,000002$ представлены на рис.2.

Из рис.2 следует, что наибольшее увеличение зарядов происходит на четырех крайних проволочках. С увеличением зарядов связан рост коэффициента газового усиления M . Коэффициент газового усиления M следующим образом зависит от величины линейной плотности заряда σ проволочки $M = K \times \exp \sigma$ [11]. Это соотношение позволяет оценить изменение коэффициента газового усиления проволочек по отношению к центральным. Изменение для двух крайних проволочек составляет примерно 80 и 30% соответственно.

2. Роль крайних проволочек увеличенного диаметра

На практике эксперимента на краях пропорциональных камер для уменьшения роли краевых эффектов применяются проволочки большего диаметра. Покажем на конкретном примере, что происходит при увеличении диаметров крайних четырех проволочек. В таблице представлены значения диаметров этих проволочек от края к центру камеры в мкм и относительные величины зарядов на них (камера 2). Зная зависимость поля E на поверхности проволочки от ее радиуса r , $E \sim \sigma/r$, где σ — линейная плотность заряда проволочки, нетрудно убедиться, что величина электрического поля на поверхности четырех крайних проволочек меньше, чем на остальных. Это отражено в последней строке таблицы. Как видно из таблицы, напряженность электрического поля на этих проволочках такова, что исключает возможность появления шумовых импульсов и пробоев.

Таблица

N пров.	Камера 1					Камера 2				
	1	2	3	4	центр	1	2	3	4	центр
Диам.	20	20	20	20	20	50	40	30	25	20
Заряд	1.57	1.24	1.12	1.06	1.0	1.79	1.32	1.14	1.06	1.0
Поле	1.57	1.24	1.12	1.06	1.0	0.70	0.66	0.76	0.85	1.0

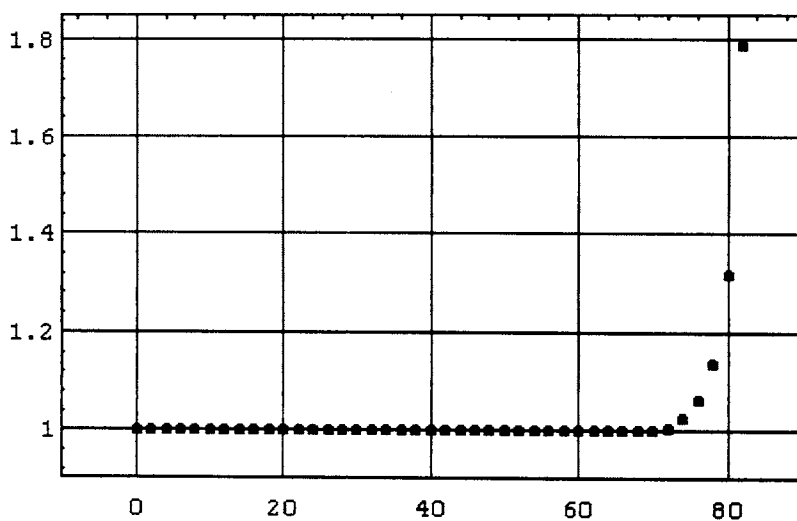


Рис.3. Величина заряда на проволоке в зависимости от ее положения для камеры из 83 проволок. Диаметры всех проволок равны 20 мкм за исключением 4-х крайних, равных 25, 30, 40 и 50 мкм

Распределение зарядов для этого случая между проволочками показано на рис.3.

В таблице для сравнения приведены данные для камеры с проволочками одинаковых диаметров (камера 1). Электрическое поле на поверхности 2-х крайних проволок этой камеры в два раза больше поля на поверхности проволок увеличенного диаметра (камера 2).

Анализ результатов вычислений, которые представлены на рис.2 и 3, позволяет сделать следующее предположение: уменьшение или увеличение общего числа проволок при сохранении всех геометрических характеристик камеры не приведет к заметному изменению относительных величин зарядов крайних проволок.

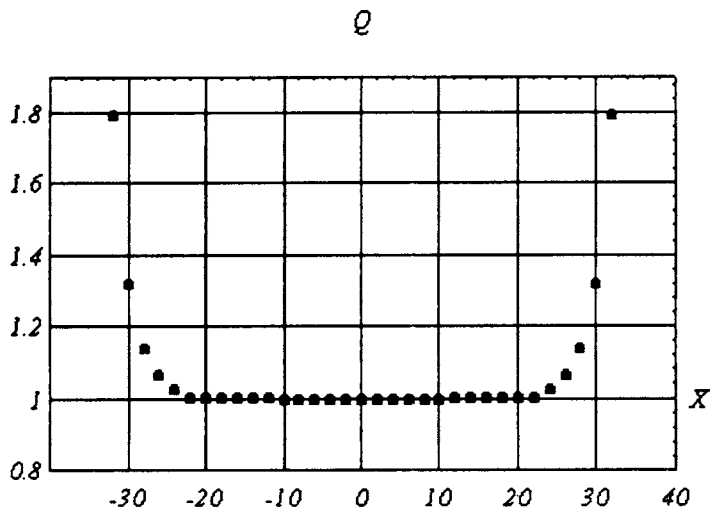


Рис.4. Величина заряда на проволочке в зависимости от ее положения для камеры из 33 проволочек. Диаметры всех проволочек равны 20 мкм за исключением 4-х крайних, равных 25, 30, 40 и 50 мкм

Покажем справедливость этого предположения. На рис.4 дано распределение зарядов для камеры из 33 проволочек. Крайние проволочки камер из 33 и 83 проволочек идентичны, а величины s и l одинаковы для обеих камер. Сравнение результатов расчетов для камер из 83 и 33 проволочек показывает, что разница в величинах зарядов крайних проволочек не превышает $(3 + 4) \times 10^{-6}$. Это происходит несмотря на уменьшение числа проволочек в 2,5 раза. Тем самым подтверждается предположение о том, что изменение величин зарядов крайних проволочек связано только с увеличением их емкости, но не с числом проволочек камеры. Таким образом, краевые эффекты обязаны только 4—5 крайним проволочкам, т.е. *краевые эффекты ограничены областью ~10 мм вдоль крайних проволочек.*

3. Изменение конфигурации электрического поля на краях камеры

Если диаметры проволочек одинаковы, то увеличение емкости проволочек к краям камеры происходит только за счет площади катода, которую занимают заряды, индуцируемые зарядами соответствующей проволочки. Величина этой площади будет увеличиваться к краям камеры. Следствием этого явится изменение формы элементарной ячейки камеры. Это справедливо и в случае использования проволочек большего диаметра. Но при этом дополнительное увеличение емкости связано с изменением диаметра проволочек. В центральной области камеры ячейка в сечении является прямоугольником размером $s \times 2l$. Что происходит на краях камеры, показано на рис.5. На нем изображено медианное сечение камеры в районе 8 крайних проволочек (прово-

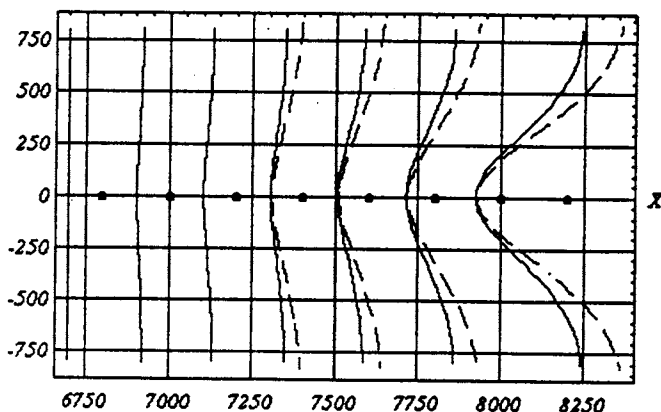


Рис.5. Конфигурация элементарных ячеек камеры из 83 проволок в медианном сечении на одном из ее краев в районе 8 крайних проволок. Видно изменение формы прямоугольных ячеек камеры. Сплошными кривыми показаны границы между ячейками для камеры, у которой диаметры 4-х крайних проволок увеличены. Пунктирные кривые — границы ячеек камеры с проволоками равных диаметров. По каждой из осей X и Y 100 делений соответствуют 1 мм.

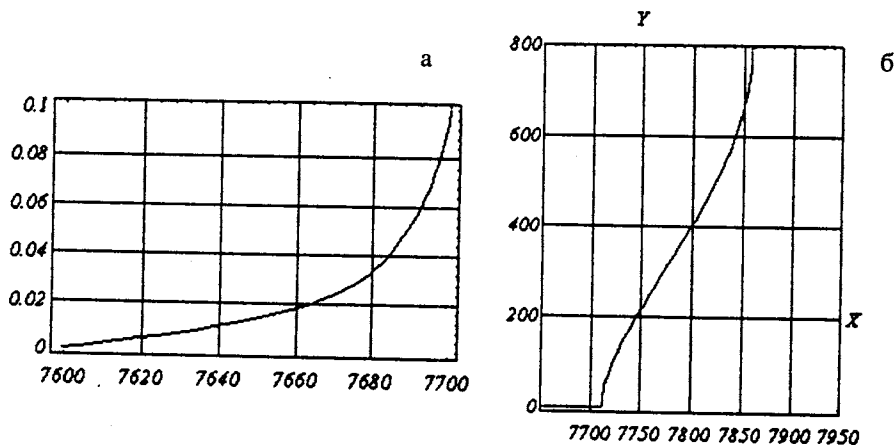


Рис.6. Линия электрического поля в медианной плоскости, начинающаяся на 4-й от края проволочке. Линия проходит через точку, расположенную посредине между 4-й и 3-й крайними проволочками по оси X и смещенную на 1 мкм по оси Y. а — ее начальный участок, б — вся линия поля от проволочки до катодной плоскости.

лочки 76 + 83). Сплошными кривыми обозначены границы элементарных ячеек камеры, у которой диаметр четырех крайних проволок увеличен (табл.1). Границы ячеек камеры с проволочками одинакового диаметра показаны штрихпунктиром. Из рисунка видно, как деформируется прямоугольная элементарная ячейка к краю камеры. Ее форма приобретает сложный характер. На краях камеры ячейка ограничивается криволинейными поверхностями.

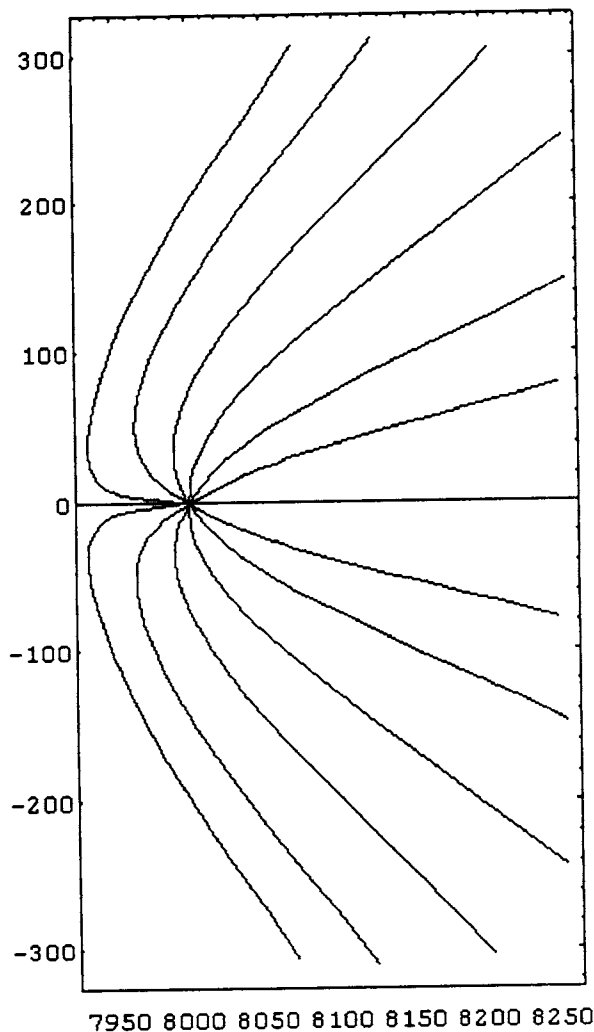


Рис.7. Карта силовых линий поля в медианной плоскости, начинающихся на второй проволочке от края камеры. Все линии деформированы и отклонены в направлении края камеры

Меняется в этой области и сама конфигурация электрического поля. На рис.6 показана одна из линий электрического поля вблизи края камеры. На рис.6а показан ее начальный участок. Система координат для этого случая выбрана следующим образом: координаты $X = 0$, $Y = 0$ соответствуют центру камеры, через который проходит центральная проволочка. Ось OX лежит в плоскости проволочек, ось OY направлена вдоль нормали к плоскости проволочек. Цена одного деления шкал по осям равна 10 мкм (100 делений шкалы соответствуют 1 мм). Таким образом, координата $(7600,0)$ соответствует центру 4-й крайней проволочки. Силовая линия проходит через точку, расположенную на оси OX точно посередине между 4-й и 5-й крайними проволочками, но смещенную вдоль оси OY только на 1 мкм.

В отсутствие краевого эффекта силовая линия проходила бы в дальнейшем параллельно оси OY при значении $X = 7700$, а не так, как это показано на рис.6б. На рис.6б эта линия поля изображена полностью от проволочки до катода. Ее смещение на катоде составляет 1,52 мм. На рис.7 представлена карта силовых линий поля, начинающихся на 82-й проволочке. Все линии поля смещены к краю камеры.

Конфигурация электрического поля элементарной рабочей ячейки камеры определяется линейным зарядом анодной проволочки, принадлежащей этой ячейке, а также линейными зарядами соседних проволочек. Зависимость электрического поля E от расстояния до линейного источника определяется соотношением $E \sim \sigma/r$. Поэтому число линейных зарядов, вносящих заметный вклад в величину поля ячейки, не превышает $8 + 10$ с каждой стороны проволочки. Это частично видно на рис.3 и 4. В непосред-

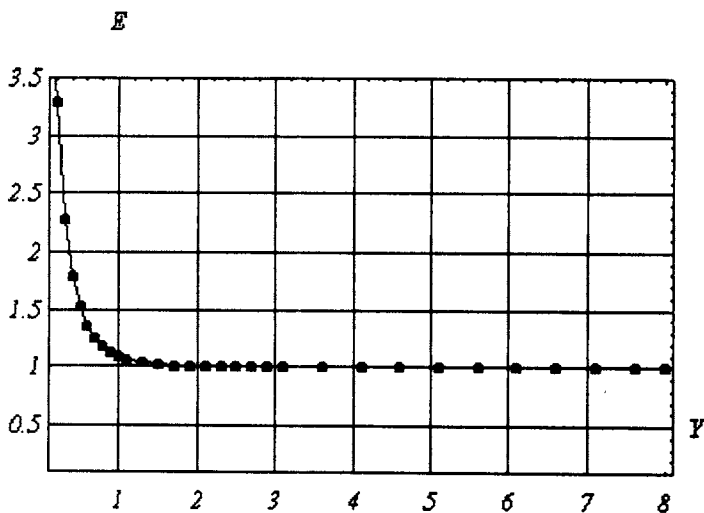


Рис.8. Изменение электрического поля по линии, проходящей через центр одной из проволочек камеры вдоль направления, перпендикулярного плоскости проволочек

венной близости от самой проволочки поле определяется зарядом проволочки. Поэтому распределение поля и потенциала в окрестности проволочки эквивалентно распределению полей и потенциалов круглого цилиндрического счетчика. На некотором расстоянии от проволочки по направлению к катоду составляющие электрического поля вдоль плоскости проволочек (продольные составляющие поля), имеющие противоположные направления, будут взаимно уравниваться. Таким образом, фактически остаются только составляющие поля, направленные вдоль нормали к катоду. Эти составляющие в сумме образуют постоянное электрическое поле начиная примерно с 1 мм от проволочки по направлению к катоду (рис.8). Вблизи краев камеры продольные составляющие поля уже не уравниваются. Этот дисбаланс увеличивается к краю камеры, так как с одной из сторон число и величина действующих линейных зарядов остается неизменной, а с другой — уменьшается. С разницей в числе и величинах линейных зарядов слева и справа от проволочки ячейки связана деформация элементарной ячейки на краях камеры. Увеличение линейных плотностей проволочек частично компенсирует дисбаланс в зарядах слева и справа. У камеры с одинаковым диаметром крайних проволочек заряды на этих проволочках меньше зарядов проволочек камеры с увеличенными диаметрами проволочек (табл.1). Поэтому деформация элементарных ячеек камеры с проволочками одинаковых диаметров будет выражена сильнее. На рис.5 границы между ячейками для такой камеры показаны штрихпунктирными кривыми. Таким образом, увеличение диаметров крайних проволочек камеры выполняет двойную роль. Увеличение диаметров проволочек уменьшает электрическое поле на их поверхности. Величина поля на них не превышает поля

остальных проволочек (табл.1), несмотря на увеличение линейного заряда этих проволочек в сравнении с линейным зарядом на проволочках камеры с идентичными проволочками. Увеличение линейного заряда проволочек большего диаметра приводит к уменьшению деформации крайних элементарных ячеек камеры.

4. Краевые эффекты у концов проволочек

Во всех расчетах заложено предположение о том, что линейная плотность заряда вдоль проволочки постоянна. Приведенные выше результаты являются указанием на то, что заметное изменение линейной плотности зарядов будет происходить только на концах проволочек, на длине не более $10 + 15$ мм. Для того чтобы лучше понять, что происходит у концов проволочек, рассмотрим идеализированный прототип камеры с проволочками, которые как бы висят без соединения (подпайки) их концов с системами съема сигнала. Длина проволочек равна расстоянию между первой и последней проволочками. Линейная плотность заряда постоянна вдоль проволочек. Диаметры всех проволочек одинаковы. Результаты расчета потенциала вдоль центральной проволочки приведены на рис.9, они обозначены точками. Сплошной кривой показана зависимость потенциала от проволочки к проволочке, как и на рис.1, линейная плотность заряда проволочек одинакова. По законам электростатики такого согласия результатов и следовало ожидать. На рис.10 приведено подобное распределение потенциала вдоль диагонали камеры. Расчет выполнен при условии, что линейная плотность заряда распределена между проволочками в соответствии с распределением заряда, показанным на рис.2. Некоторое превышение над той же кривой, что и на рис.9, связано с увеличением линейной плотности зарядов на крайних проволочках (см. рис.2).

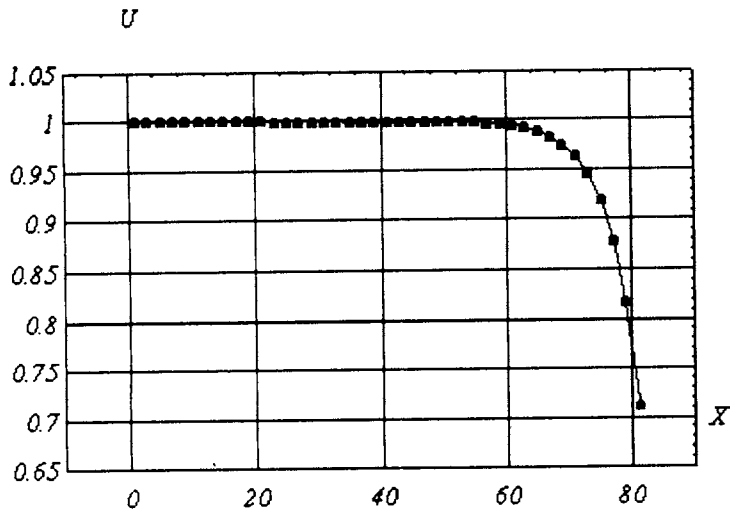


Рис.9. Разность потенциалов U проволочка — катод вдоль центральной проволочки камеры. Линейная плотность заряда вдоль всей проволочки одинакова, линейная плотность заряда на всех проволочках одинакова. $X = 0$ соответствует центру камеры

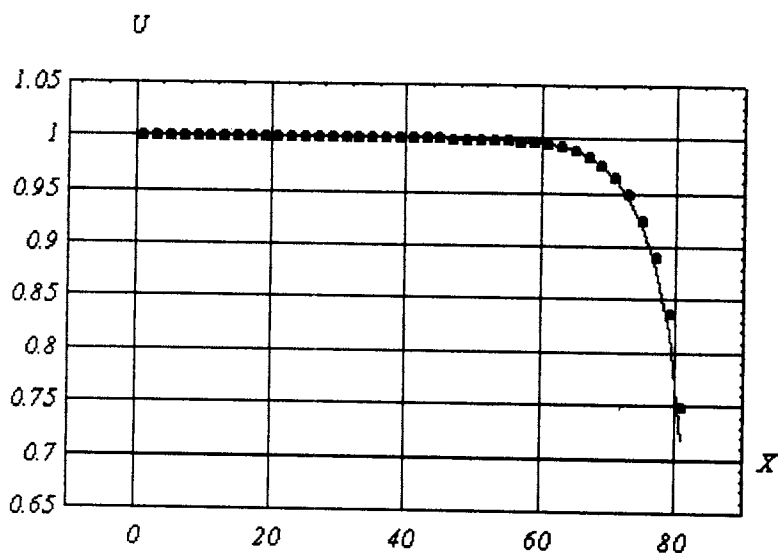


Рис.10. Разность потенциалов U провололка — катод вдоль диагонали камеры. Линейная плотность заряда вдоль каждой провололки постоянна, линейная плотность заряда при переходе от провололки к провололке соответствует рис.2

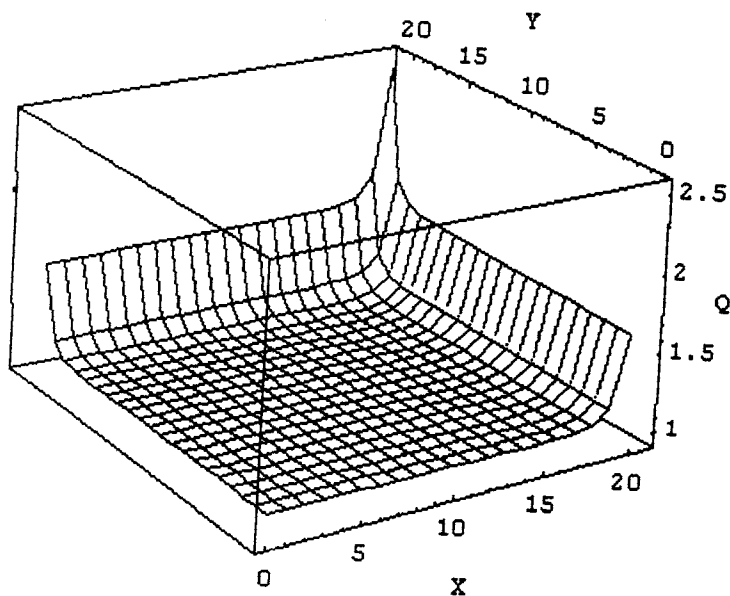


Рис.11. Линейная плотность заряда Q вдоль провололки и от провололки к провололке в одном из квадрантов камеры. Разность потенциалов провололка — катод для всех провололок камеры одинакова

Все полученные данные позволяют сделать заключение о том, что линейная плотность заряда вдоль проволочек распределена аналогично распределению плотности от проволочки к проволочке в соответствии с рис.2. При этом заметное изменение, как и предполагалось ранее, приходится на концевые участки проволочек размером $10 + 15$ мм. Идеализированное распределение зарядов по проволочкам и вдоль них в одном из квадрантов камеры показано на рис.11. На нем вдоль оси X обозначены номера нечетных проволочек, начиная с центральной, по оси Y — номера точек, взятых через 4 мм вдоль проволочки. Величины зарядов (ось Z) приведены в относительных единицах. Из рисунка следует, что при увеличении напряжений наибольшая вероятность появления разрядов на камере приходится на углы камеры. В области углов наблюдается общее увеличение линейной плотности заряда на крайних проволочках, а также ее увеличение к концам проволочек, если в последнем случае не учитывать влияние диэлектрической рамки.

В практике эксперимента в качестве пучковых используются МППК с проволочками диаметра 10 мкм, шагом намотки, равным 1 мм. Были выполнены расчеты для такой камеры с межкатодным расстоянием, равным 4 мм. Как видно, все геометрические размеры камеры для этого случая уменьшены в 2 раза по сравнению с размером камеры, рассмотренной ранее. На основании принципа подобия при решении задач электростатики можно ожидать совпадения результатов расчета в обоих случаях не только качественно, но и количественно. Действительно, количественные результаты совпадают с точностью выше чем 1×10^{-5} .

Степень влияния диэлектрических рамок на величину и конфигурацию электрического поля по периметру камеры зависит от конструктивных особенностей камеры. Вместе с тем эта зависимость в принципе носит различный характер, на краях камеры вдоль проволочек, с одной стороны, и вдоль концевых участков сигнальных проволочек — с другой. В первом случае диэлектрическая рамка в той или иной степени усиливает краевой эффект, рассмотренный выше. Во втором случае, наоборот, ослабляет его. Поясним это различие на примере. На рис.12а показано поперечное сечение камеры в районе диэлектрической рамки, находящейся между двумя катодными плоскостями и параллельной сигнальным проволочкам. Крайняя сигнальная проволочка w заряжена положительным зарядом с линейной плотностью σ . Под действием зарядов проволочки происходит поляризация диэлектрика. На его поверхности, обращенной к

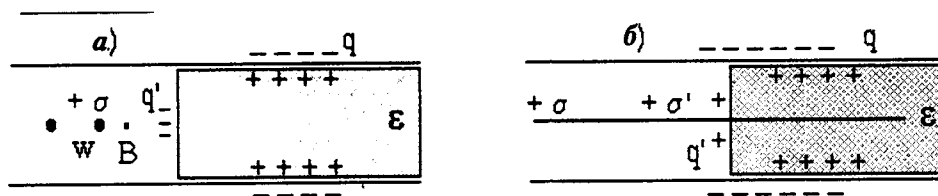
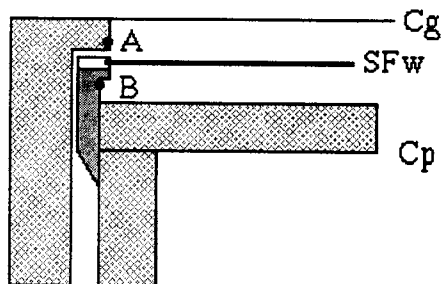


Рис.12. Схема пропорциональной камеры вблизи диэлектрической рамки ϵ , σ — линейная плотность заряда проволочки, q — поверхностная плотность зарядов катода, q' — поверхностная плотность зарядов рамки за счет поляризации диэлектрика. Сечение камеры плоскостью, перпендикулярной плоскости проволочек (а), w — проволочка. Сечение камеры вдоль проволочки (б), σ' — линейная плотность заряда проволочки у ее конца

Рис.13. Схема прототипа времяпроекционной камеры. Сg — сеточная поверхность катода, Ср — поверхность катода из медной фольги, SFw — плоскость сигнальных и полевых проволочек детектора, А и В — защитный проволочный электрод. Штриховкой показаны диэлектрические рамки



проволочке, появятся отрицательные заряды q' диполей, образованных из-за поляризации. Направление результирующего поля этих зарядов в точках между проволочкой и рамкой (например, в точке В) будет совпадать с направлением поля заряда проволочки. С увеличением расстояния между проволочкой и рамкой влияние поляризации диэлектрика уменьшается.

Совсем другая картина наблюдается у концов проволочки. На рис.126 показано сечение камеры вдоль одной из проволочек. Отрицательные заряды катодной плоскости q индуцируют заряды положительного знака с линейной плотностью σ вдоль проволочки за исключением ее концов. Вблизи конца проволочки часть зарядов катода, которые индуцировали бы заряды на проволочке в отсутствие диэлектрика, создают поляризацию диэлектрика и связываются положительными зарядами q' на поверхности рамки. Поэтому линейная плотность зарядов σ' к концу проволочки уменьшается: $\sigma' < \sigma$. Это ведет к ослаблению краевых эффектов, связанных с увеличением линейной емкости проволочек на ее концах.

Насколько существенно влияние конструктивного решения на характер электрического поля, можно судить по экспериментальным результатам [12]. Эти результаты получены при исследованиях амплитудного распределения сигналов вдоль сигнальной проволочки в прототипе времяпроекционной камеры установки DELPHI [13,14]. Регистрирующим устройством в этом прототипе является пропорциональная камера с тем отличием от рассмотренной выше, что в одной плоскости SFw (рис.13) с сигнальными проволочками между ними размещены полевые проволочки. Их назначение — формирование необходимой конфигурации и величины электрического поля. Одной из катодных плоскостей камеры служила медная фольга Ср, другой плоскостью служила сетка Сg из проволочек, находящихся на расстоянии 1 мм. Расстояние между катодными плоскостями равно 8 мм. Высокое напряжение (+ 1550 В) подавалось на сигнальные проволочки. Катод и полевые проволочки находились под нулевым потенциалом. Коррекция электрического поля у концов сигнальных проволочек осуществлялась подачей напряжения на защитный электрод, которым служили две проволочки А и В (рис.13). Диаметр проволочек равен 0,8 мм. Без защитного электрода уменьшение амплитуды сигнала более чем на 40% начиналось на расстоянии 4 мм от рамки. Без подачи напряжения на электрод такое уменьшение амплитуды сигнала начиналось на расстоянии 1,5 мм от рамки, при отрицательном напряжении, равном 180 В, — только на проволочке А и нулевом потенциале на проволочке В — на расстоянии 0,3 мм от рамки. Подача напряжения на электрод В не приводила к дальнейшим изменениям. При использовании электрода, образованного только проволочкой А, эти расстояния увеличивались на 1 мм. Таким образом электрод А в большей степени корректировал величину и характер электрического поля, создаваемого катодной сеткой, чем электрод В.

5. Выводы

Из расчетов конфигурации электрических полей и потенциалов планарных МППК получены следующие результаты, а также сделаны выводы.

— Выявлена причина появления краевых эффектов. Краевые эффекты вызываются изменением линейной плотности заряда крайних проволок и концевых участков всех проволок камеры по сравнению с линейной плотностью заряда проволок центральной области камеры.

— Определена область камеры, в которой краевые эффекты играют заметную роль. Эта область расположена по периметру камеры, она не превышает по ширине $10 + 15$ мм. Область, в которой краевые эффекты играют заметную роль, не зависит от размеров камеры.

— Показана роль проволок увеличенного диаметра, используемых в пропорциональных камерах на ее краях. Увеличение диаметра проволок уменьшает электрическое поле на их поверхности до значения, не превышающего поля остальных проволок, хотя линейная плотность заряда крайних проволок увеличенного диаметра больше линейной плотности заряда крайних проволок одинакового диаметра. Увеличенный заряд крайних проволок улучшает конфигурацию электрического поля на краях камеры.

Литература

1. Charpak G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1968, 62, p.262;
Charpak G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1970, 80, p.13.
2. Charpak G. — Ann. Rev. Nucl. Sci., 1970, 20, p.195.
3. Rice-Evans P. — Spark, Streamer, Proportional and Drift Chambers. Richelieu Press, London, 1974.
4. Research on Particle Imaging Detectors (edited by Georges Charpak). Series in 20th Century Physics, vol.6. World Scientific, Singapore, 1995.
5. Glässel P. — Nucl. Instr. and Meth., 1970, 140, p.61.
6. Erskine G.A. — Nucl. Instr. and Meth., 1972, 105, p.565.
7. Tomitani T. — Nucl. Instr. and Meth., 1972, 100, p.179.
8. Symm G.T. — Nucl. Instr. and Meth., 1974, 118, p.605.
9. Veres I., Montvai A. — Nucl. Instr. and Meth., 1978, 156, p.73.
10. Morse P.M. — Methods of Theoretical Physics, Part 2, 1953, New York.
Buchholz H. — Elektrische und Magnetische Potentialfelder, 1957, Springer, Berlin.
11. Sauli A. — Preprint CERN 77-09, 1977.
12. Brand C. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1985, A237, p.501.
13. Brand C. et al. — The DELPHI time projection chamber. Nucl. Instr. and Meth., 1989, A283, p.567.
14. The DELPHI Collaboration. The DELPHI detector at LEP. — Nucl. Instr. and Meth., 1991, A303, p.233.