УДК 539.1

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В МИКРОСТРИПОВЫХ ГАЗОВЫХ КАМЕРАХ

В. М. Гришин, А. П. Костин, Д. Г. Стреблеченко

Разработана программа расчета двухмерного распределения электростатических полей в микростриповых газовых камерах. В программе использован расчет зарядов методом итерации, который позволяет существенно уменьшить объем требуемой памяти и увеличить скорость вычислений. Обсуждаются области применения программы.

Трековые детекторы в современной физике обычно состоят из большого числа многопроволочных пропорциональных камер, стрипов и т.п. В целях оптимизации конструкции и трековых характеристик таких камер необходимо точное знание электростатических полей в их рабочем объеме и других рабочих характеристик, таких как емкость и сопротивление. Аналитическое решение подобных задач возможно лишь в ограниченном числе случаев. Целью настоящей работы является разработка метода расчета зарядов, позволяющего решать задачи электростатики для любых систем, содержащих линейные заряды (проволочки), проводящие и диэлектрические части произвольной формы.

Численные методы решения задач электростатики делятся на два основных класса: аппроксимация уравнения Лапласа с помощью конечных разностей и метод отображаемых зарядов (интегральный). Первый метод достаточно хорошо известен и применяется в подавляющем числе расчетных программ [1]. Второй распространен гораздо меньше, хотя и обеспечивает более высокую точность решения и особенно его производных, что позволяет при той же заданной точности ограничиться более грубым разбиением границы и расчетной области. Еще одно преимущество интегрального метода – меньшая размерность уравнений.

Традиционные методы интегральных уравнений требуют решения матричного уравнения вида

$$\Psi = CQ, \tag{1}$$

где $\Psi = (\varphi_1, ..., \varphi_N, 0)$ – вектор заданных потенциалов; $Q = (q_1, ..., q_N, \varphi_0)$ – вектор неизвестных зарядов; φ_0 – потенциал бесконечности;

$$C = \begin{vmatrix} C_{11} & \dots & C_{1N} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N1} & \dots & C_{NN} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} \tag{2}$$

– матрица обратных емкостей.

Значения неизвестных зарядов могут быть получены с помощью инвертирования матрицы. Основным недостатком этого метода [2] является время, необходимое для такого инвертирования, $t \sim N^3$, где N – число неизвестных зарядов. Для задач с большим числом неизвестных зарядов возникает проблема памяти, объем которой $\sim N^2$.

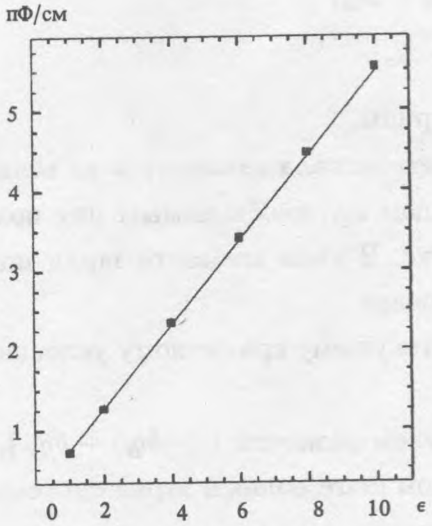
Предлагаемый метод свободен от этих недостатков. Время, необходимое для решения системы (1), пропорционально $C\ln(\Delta^{-1})N^2$, где Δ' – относительная погрешность решения, C – константа, зависящая только от свойств системы. Объем необходимой памяти снижается до CN [байт], где C – константа порядка 40 – 80 (в зависимости от конкретной реализации метода).

Предлагаемый метод позволяет также очень легко рассчитывать емкости системы [3]: численно емкость C_{ij} равна заряду на i-ом проводнике при условии, что на j-ом проводнике потенциал равен 1, а на всех остальных – 0. На рис. 1 приведена зависимость емкости микростриповой камеры от величины диэлектрической проницаемости подложки.

Все поверхности со свободными или нескомпенсированными зарядами (поверхности проводников и диэлектриков) разбиваются на равномерно заряженные стрипы или другие элементы с аналитически рассчитанными зависимостями потенциала и вектора электрического поля. Проволочки при этом могут рассматриваться как линейные заряды с граничными условиями, заданными на радиусах.

Для проводников граничные условия ставятся на их поверхности и требуется равенство потенциала заданному.

Для диэлектриков $(\epsilon_1 E_1 - \epsilon_2 E_2)\mathbf{n} = \sigma$, где σ – свободный заряд на поверхности, $\mathbf{n}$ – вектор, перпендикулярный к границе и направленный из 1 в 2.



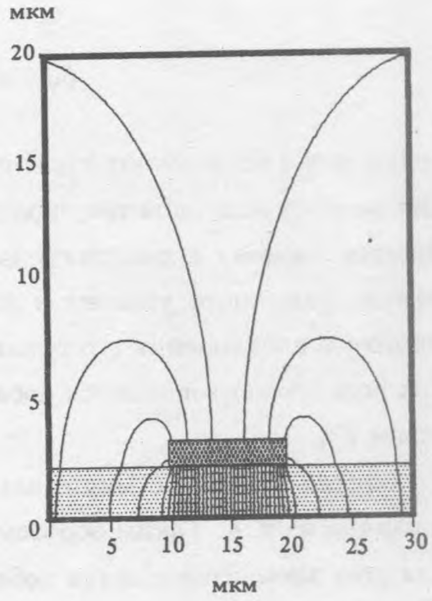


Рис. 1. *Зависимость погонной емкости стрипа от диэлектрической проницаемости подложки.*

Рис. 2. Силовые линии электрического поля вблизи анодного стрипа, лежащего на тонкой диэлектрической пленке, отделяющей его от катода.

Расчет в данном методе подразделяется на несколько шагов и будет проиллюстрирован ниже в двухмерном случае.

1) Для всех видов граничных элементов определяются их положение и граничные условия.

Проволочки: координаты X и Y, радиус R, потенциал φ_{i0}, заряд q (=0), текущий потенциал $\varphi_{ic}(=0)$.

Стрипы: координаты X и Y, ширина w, вектор нормали $\mathbf{e}$, потенциал φ, заряд q (=0), текущий потенциал $\varphi_{ic}(=0)$.

Диэлектрики: координаты X и Y, ширина w, вектор нормали $\mathbf{e}$, заряд q (=0), отношение диэлектрических проницаемостей ϵ_1/ϵ_2, суммарная проекция вектора напряженности электрического поля E_s на вектор нормали (=0).

Задается требуемая точность решения.

2) Из метода наименьших квадратов ищется добавка к потенциалу бесконечности $\delta\varphi_0$:

$$\delta\varphi_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_w+N_s} (\varphi_{i0} - \varphi_{ic})}{N_w + N_s},$$

где индексы w и s обозначают проволочки и стрипы.

3) Для всех проводников текущее значение потенциала изменяется на величину $\delta\varphi_0$.

4) Ищется элемент с дополнительным зарядом δq_i, необходимым для полного удовлетворения граничного условия в данной точке. В этом элементе заряд подбирается для полного удовлетворения его граничного условия.

5) Для всех элементов ищется добавка к их текущему граничному условию, вызванная зарядом δq_i.

6) Находится элемент с минимальным модулем разности $\mid (-\delta q_i) - \delta q_j \mid$, где δq_i – добавка заряда из п. 4. Таким образом, на каждом шаге полный заряд системы равен 0.

7) Для всех элементов ищется добавка к их текущему граничному условию, вызванная зарядом δq_j.

8) Проводится проверка, достигнута ли необходимая точность. Если нет – возврат к п. 2.

Предлагаемый метод сильно упрощается в 3-мерном случае: потенциал бесконечности тождественно равен нулю и нет необходимости требовать равенства нулю полного заряда системы.

Необходимо заметить, что в 2-мерном случае необходима нормировка всех расстояний в формулах для потенциала на некое расстояние, большее максимального размера системы, что, очевидно, не влияет на уравнения из-за равенства нулю полного заряда системы.

Скорость метода может быть значительно увеличена, если в пп. 5 и 7 не вычислять добавки по формулам, а пользоваться заранее вычисленной матрицей (2). При этом, правда, объем необходимой памяти возрастает и становится пропорционален N^2.

Разработанную программу можно использовать для расчета электростатических полей в многопроволочных и микростриповых камерах. На рис. 2 приведены силовые линии электрического поля микрострипового детектора вблизи анода, рассчитанные предлагаемым методом. Метод допускает несложное обобщение на трехмерный случай, что позволяет рассчитывать поля для камер с практически любой геометрией электродов.

Авторы признательны С. И. Никольскому за поддержку настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Florent J. J. et al. Preprint CERN-PRE/92-78.

[2] Weihs W. and Zech G. Nucl. Instr. and Meth., **A281**, 393 (1989).

[3] Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М., Наука. 1977.

Поступила в редакцию 15 сентября 1993 г.