

УДК 681.385

WIDE-ANGLE OPTICS: ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО- И ИОННО-ЛУЧЕВЫХ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ НЕПАРАКСИАЛЬНУЮ ШИРОКОУГОЛЬНУЮ И ИММЕРСИОННУЮ ОПТИКУ С НАЛОЖЕННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Б. Н. Васичев, Е. П. Михальцов

Московский государственный институт электроники и математики
(Технический университет), Москва, Россия

Л. Б. Розенфельд

Научно-исследовательский институт электронной и ионной оптики, Москва, Россия

Пакет программ служит для расчета и моделирования электронно- и ионно-лучевых аксиально-симметричных систем, содержащих непараксиальную широкоугольную и иммерсионную оптику с электрическими и магнитными полями.

Пакет WIDE-ANGLE OPTICS предназначен для расчета с высокой точностью в декартовой системе координат параксиальных и непараксиальных траекторий заряженных частиц, движущихся в комбинированных полях, включающих в себя осесимметричные, мультипольные и несимметричные электростатические и магнитные поля, а также для расчета оптических характеристик 1-го порядка и аберраций указанных систем. Допускается наличие скрещенных электрических и магнитных полей. Обеспечивается высокая точность расчетов, определяемая только точностью задания полей, в приосевой области и на большом удалении от оси, а также при произвольных значениях угла наклона траектории к оси (включая 90°) и произвольных значениях скорости частицы (включая случай нулевой начальной или промежуточной скорости). Это позволяет использовать пакет программ как при расчете традиционных систем, так и при расчете траекторий в прикатодной области, расчете иммерсионных систем (включая зеркала), широкоугольных систем и систем с большим полем зрения. Пакет применяется при решении широкого круга задач, связанных с проектированием или исследованием различных электронно-оптических систем электронно- и ионно-лучевых установок технологического и аналитического назначения [1—4].

Используемые методы. Программное обеспечение осуществляет:
аппроксимацию распределения потенциала и его производных разложениями по полиномам Чебышева с минимизацией абсолютной ошибки аппроксимации;
преобразование полученных полиномов в степенные ряды;
аналитическое интегрирование полученных рядов для потенциала при подстановке в него комплексного аргумента ($z + jr \cos \theta$);
приведение подобных членов и вычисление коэффициентов рядов, описывающих компоненты поля;
численное интегрирование системы дифференциальных уравнений с вычислением полей и траекторий частиц.

Пакет включает алгоритмы обработки расчетных данных для определения распределения плотности тока в произвольном сечении пучка (в том числе в произвольной точке изображения) и позволяет визуализировать полученное распределение.

Тестирование метода. Тестирование описанного метода и программ проведено на электрических и магнитных полях, описываемых аналитическими выражениями и позволяющих получать аналитическое решение уравнения траектории [5]. Результаты тестирования подтвердили высокую точность метода, позволяющего моделировать непараксиальную широкоугольную и иммерсионную электронно- и ионно-лучевую оптику, содержащую комбинированные электрические и магнитные поля. Относительная ошибка отклонения расчетной траектории от теоретического значения не превышала $\sim 1 \cdot 10^{-5}$, а вблизи от оси определялась только точность задания потенциала.

Применение метода. Пакет содержит графические и языковые средства для ввода и редактирования исходной информации и управления вычислительным процессом. Обеспечена визуализация результатов расчетов. Эффективные алгоритмические и сервисные средства обеспечивают оперативную подготовку данных и проведение многовариантных расчетов при экономичном использовании вычислительных ресурсов. Пакет предназначен для расчета и моделирования новой элементной базы электронно- и ионно-лучевых систем технологического, контрольно-измерительного и аналитического, включая электронные просвечивающие, растровые, эмиссионные и др. микроскопы высокого разрешения.

Развитие. Работа по развитию программного обеспечения продолжается в части расширения библиотеки, дополнительных подпрограмм, обеспечивающих расширение возможностей основного пакета.

Уровень разработки. Пакет WIDE-ANGLE OPTICS по заложенным функциональным возможностям и возможным применениям для расчета и моделирования элементной базы (электронных и ионных линз, отклоняющих систем) электронно- и ионно-лучевых систем находится на уровне известных пакетов, таких как РЭМП (Россия), AMAG (Чехословакия), PLTMG (США), FLUX-2D (Франция), M13 (Англия), MAGG Y-2 (Голландия) и др., но в отличие от них позволяет выполнять моделирование непараксиальной оптики и иммерсионных систем.

Литература

1. Васичев Б. Н., Розенфельд Л. Б., Михальцов Е. П. Методика аппроксимации осесимметричных электрических и магнитных полей и их производных при электронно-оптических расчетах // Известия АН СССР. Сер. Физ. 1988. Т. 52. № 7.
2. Васичев Б. Н., Розенфельд Л. Б., Михальцов Е. П., Чернова-Столярова Е. Е. Методика аппроксимации осесимметричных полей на большом удалении от оси // Там же. 1991. Т. 55. № 9.
3. Васичев Б. Н., Розенфельд Л. Б., Михальцов Е. П., Чернова-Столярова Е. Е. Метод расчета широкоугольных осесимметричных электронно-оптических систем // Там же. 1993. Т. 57. № 8.
4. Vasichev B. N., Rozenfeld L. B., Mihaltcov E. P. Analysis error of calculation field function and integration equation movement charged particles in wide-angle electron optics // IX Russian symposium on scanning electron microscopy and analytical methods of solid investigation. — Chernogolovka, Nauka, 1995.
5. Розенфельд Л. Б., Михальцов Е. П., Васичев Б. Н. Метод расчета непараксиальных траекторий в широкоугольных и иммерсионных осесимметричных электронно-оптических системах, содержащих комбинированные электрические и магнитные поля // Прикладная физика. 1996. Вып. 3. С. 28—37.

**WIDE-ANGLE OPTICS: THE APPLIED PROGRAM PACKAGE
FOR ELECTRON- AND ION-BEAM AXIAL SYMMETRIC SYSTEMS
CONTAINING THE NON-PARAXIAL WIDE-ANGLE AND IMMERSION
OPTICS FOR COMBINED ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS**

B. N. Vasichev, E. P. Mikhaltsov

Moscow State Institute for Electronics and Mathematics (Technical University), Moscow, Russia

L. B. Rosenfeld

Research Institute for Electron and Ion Optics, Moscow, Russia

An applied program package for precise calculation of trajectories in the combined electrical and magnetic axial and nonaxial fields. The calculation accuracy is about $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-15}$. The method based on the technique of approximation by Tchebischev polinomes. Grafic and language software intended for data input, control over computational process and output data visualization is elaborated.