Верификация компьютерной модели для расчета ионно-оптичесских систем

1,2,3Дикалюк А.С., 2Суржиков С.Т., 1Куратов С.Е.

1Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,  
 Москва, Россия, [aleks.dikalyuk@gmail.com](mailto:aleks.dikalyuk@gmail.com)  
2Институт проблем механики РАН им. А.Ю. Ишлинского, Москва, Россия   
3Московский физико-технический институт (государственный университет),  
 Долгопрудный, Россия

Расчет траекторий движения заряженных частиц в заданных электростатических полях, несмотря на кажущуюся простоту, с вычислительной точки зрения является сложной многоэтапной задачей.

Рассматриваются системы с осевой симметрией. На первом этапе решается уравнение Пуассона с нулевой правой частью при заданных граничных условиях (потенциалах на электродах, которые в свою очередь могут иметь сложную форму). Рассчитывается распределение потенциала в расчетной области, а так же электрические поля. В данной работе эта задача решается численно с использованием метода установления и метода конечного объема, реализованного на неструктурированных треугольных сетках [1].

На втором этапе рассчитываются траектории движения заряженных частиц. При этом решается задача интерполяции рассчитанных ранее полей из барицентров треугольников сетки к местоположению частиц. Для расчета движений частиц используется метод Бориса [2], однако следует помнить, что в определенных ситуациях движение частиц может быть релятивистским.

Ввиду сложности решаемой задачи целесообразным является проведение тестовых расчетов. В данной работе на ряде примеров выполнено сопоставление результатов расчетов, полученных по разработанным программам, с результатами, полученными с помощью программ CPO и SIMION. Во всех рассмотренных тестовых случаях продемонстрировано удовлетворительное согласие между результатами.

Во второй части работы учтено влияние пространственного заряда пучка ускоряемых частиц на распределение полей в системе. Для этого потребовалось рассчитать плотность заряда в барицентрах треугольных элементов и решить уравнение Пуассона с правой частью (таким образом, был реализован PIC-метод). Верификация подхода частиц-в-ячейках в контексте задач связанных с движением заряженных частиц в ионно-оптических системах была протестирована путем моделирования вольт-амперной характеристики идеального диода, работающего в режиме пространственного заряда (закон степени трех вторых).

Верифицированные в работе компьютерные коды могут быть использованы для анализа различных ионно-оптических систем, а так же как составные части для создания кинетической модели плазмы на основе метода частиц в ячейках [3-5].

Литература.

1. Котов Д.В. Вычислительные модели физико-химической кинетики при гиперзвуковом обтекании реальных тел. - Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м. н., 2010 г.
2. Delzanno G.L., Camporeale E. On particle movers in cylindrical geometry for Particle-In-Cell simulations. – J. Comput. Phys. – 2013. – V. 253. – P. 259-277.
3. Бэдсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. – М.: Мир, 1987.
5. Суржиков С.Т. Бесстолкновительный разлет двухзарядного плазменного облака в разреженной замагниченной плазме. – Физика плазмы. - 2000. – Т. 26. - № 9. - С. 811-823.