

УДК 004.021

РАСЧЕТ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ НА СЕТКЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Давыдов И.А.

Научный руководитель – Дубицкий С. Д.

Введение

Моделирование движения заряженных частиц в электромагнитном поле является актуальной задачей для многих областей физики и техники, таких как ускорители частиц, спектрометры, электровакуумные приборы и пр. Анализ траектории заряженных частиц выполняется на стадии анализа готового решения задачи. Используется та же сетка конечных элементов, которая применялась для расчета электрического или магнитного поля.

Источником частиц является точечный или протяженный эмиттер. Для точечного эмиттера пользователь задает его положение, заряд и массу частицы, ее начальную скорость или энергию и диапазон углов вылета. На каждом шаге алгоритма рассматривается движение частицы в пределах одного конечного элемента. Путем интегрирования уравнения движения частицы в элементе определяется положение точки вылета частицы из элемента и кинематические параметры движения (скорость, ускорение) в каждой точке траектории. Расчет повторяется в следующем элементе до тех пор, пока частица не вылетит из области расчета или не достигнет твердой границы.

Задача состоит в реализации алгоритма, который будет рассчитывать и визуализировать движение заряженной частицы.

Основная часть

Для решения данной задачи, для интегрирования уравнения движения заряженной частицы использовались методы Эйлера. Алгоритм работы состоит из следующих этапов:

1. Поиск начального конечного элемента траектории по координатам эмиттера.
2. Численное интегрирование уравнений движения частицы внутри каждого конечного элемента с учетом ранее найденного распределения электрического поля.
3. Определение следующего конечного элемента на траектории частицы и повторение расчета.

Третий пункт предполагает решение топологической задачи: при пересечении грани легко понять, в каком элементе окажется частица, но при пересечении вершины, определение следующего элемента оказывается более сложной задачей. Также на этом этапе проверяется выполнение условия конца траектории.

После реализации метода Эйлера и настройки интерфейса, для повышения точности расчетов было решено использовать метод Бориса, в частности его вырожденный метод `leapfrog`.

Дополнительными решенными задачами были поиск ближайшего элемента на траектории при взаимодействии с мышью пользователя, целью которого было повышение возможностей для анализа результатов.

Визуализация была сделана с помощью библиотеки VTK. Координаты точек траектории добавляются в `vtkPoints`, затем эта топология передается в `polyLine`. Полученный массив и используется для построения линий между точками.

Топология сетки конечных элементов и соответствующие алгоритмы обхода элементов, их вершин и граней основываются на библиотеке CGAL Triangulation Classes.

После реализации и закрытии всех потребностей для 2d и осесимметричной задач идет работа над реализацией в 3d. Разница в топологии: конечные элементы представлены не в виде треугольников, а в виде тетраэдров.

Выводы

Были рассмотрены методы моделирования траекторий заряженных частиц в электромагнитном поле на плоскости с использованием триангуляции. Предложенный подход и способы интеракции были реализованы, а результат обеспечил высокую точность и эффективность вычислений, что делает его перспективным для практического применения в различных областях физики и техники.

Литература

1. Triangulation Classes // doc.cgal.org URL: https://doc.cgal.org/latest/Triangulation/group__PkgTriangulationsTriangulationClasses.html
2. VTK's documentation // docs.vtk.org URL: <https://docs.vtk.org/en/latest/>
3. Boris Method// particleincell.com URL: <https://www.particleincell.com/2011/vxb-rotation/>