

ТРАЕКТОРИЯ ПОЛЁТА ЧАСТИЦЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В. В. Малеев, О. И. Бернгардт

Прогноз распространения солнечных возмущений от Солнца к Земле связан с необходимостью численного моделирования движения потока заряженных частиц в магнитном поле вращающегося Солнца. Базовым при этом является моделирование распространения частиц в перекрещенных электрическом и магнитном полях.

Численное моделирование движения заряженных частиц в магнитном поле используется во многих задачах, и на настоящее время развито много методов такого расчета. В работе был реализован численный алгоритм такого расчета на языке Python и проводится его тестирование на примере однородного магнитного поля. В дальнейшем алгоритм планируется применить для расчета движения в модели неоднородного магнитного поля Солнца.

Модель заряженной частицы обычно представляет собой систему уравнений, обычных или дифференциальных высших порядков. Так, например, модель, построенная на основе формулы силы Лоренца будет системой дифференциальных уравнений второго порядка, где каждой оси системы координат соответствует одно уравнение.

Для численного решения подобных системы был создан дополненный метод Рунге-Кутты четвертого порядка, позволяющий численно находить значения дифференциальных уравнений любого порядка. Принцип метода будет представлен на дифференциальном уравнении степени m :

$$y^{(m)} = f(x, y, y', \dots, y^{(m-1)})$$

Для упрощения дальнейших рассуждений вместо обычных переменных будут использоваться вектора. Так, вектор производных зависимой переменной будет иметь вид:

$$Y = [y, y', \dots, y^{(m-1)}]$$

Тогда коэффициенты и следующее значения аргумента и производных зависимой переменной будут вычисляться следующим образом:

$$\begin{aligned} K_1 &= h * [y'_i, y''_i, \dots, y_i^{(m-1)}, f(x_i, Y_i)] \\ K_2 &= h * [y'_i, y''_i, \dots, y_i^{(m-1)}, f(x_i + h/2, Y_i + K_1/2)] \\ K_3 &= h * [y'_i, y''_i, \dots, y_i^{(m-1)}, f(x_i + h/2, Y_i + K_2/2)] \\ K_4 &= h * [y'_i, y''_i, \dots, y_i^{(m-1)}, f(x_i + h, Y_i + K_3)] \\ Y_{i+1} &= Y_i + (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)/6 \\ x_{i+1} &= x_i + h \end{aligned}$$

где i – номер итерации, h – шаг.

Для оценки эффективности дополненного метода Рунге-Кутты траектория движения заряженной частицы, полученное с его помощью, будет сравниваться с аналитическим решением, приближенным к истинному. Сравнение будет проходить в однородном электромагнитном поле. Система уравнений для аналитического решения выведена из формулы силы Лоренца. Система уравнений для решения с помощью метода Рунге-Кутты является формулой силы Лоренца без изменений.

По итогам проведения эксперимента относительное отклонение составило $6 * 10^{-6}\%$. График движения частицы по аналитическому и численному решениям представлен на рис. 1 и 2 соответственно.

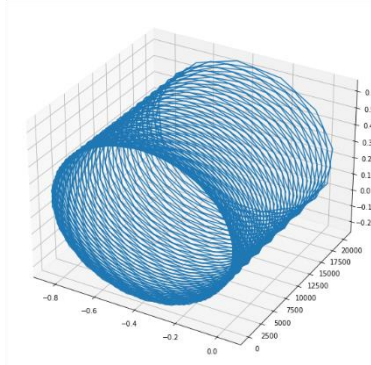


Рис. 1

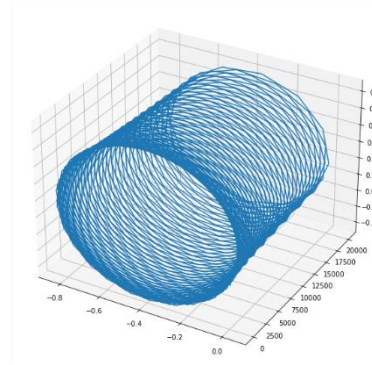


Рис. 2