

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАТОРОВ ГАУССА – ЭВЕРХАРТА И LOBBIE В ЗАДАЧАХ АСТЕРОИДНОЙ ДИНАМИКИ*

Д.Л. Басхаев, Т.Ю. Галушина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты исследования эффективности интеграторов Гаусса – Эверхарта и Lobbie в задачах астероидной динамики. В качестве объектов исследования выступают орбиты астероидов с различными эксцентриситетами. Были рассмотрены случаи возмущенной и невозмущенной задачи двух тел, также дополнительно исследовалась эффективность решения смешанных систем дифференциальных уравнений. Результаты показали, что оба интегратора хорошо подходят для рассматриваемых случаев. Однако более универсальным и эффективным является интегратор Lobbie.

Ключевые слова: интегратор Гаусса – Эверхарта, интегратор Lobbie, задача двух тел, возмущенная задача двух тел, исследование эффективности интеграторов, решение смешанных систем, астероиды, MEGNO.

Введение

Численное моделирование является преимущественным методом анализа и прогнозирования движения астероидов, спутников, космического мусора и других небесных тел. В большинстве случаев дифференциальные уравнения движения не имеют аналитического решения, поэтому единственным выходом является численное интегрирование. В настоящее время разработано множество методов численного интегрирования, однако все возрастающие требования к точности делают актуальной разработку новых более эффективных интеграторов. Кроме того, несмотря на повсеместное использование многопроцессорных вычислительных систем, важным фактором остается время, затрачиваемое на вычисление. Это особенно критично в случае предсказания возможного столкновения астероидов с Землей, поскольку для точной оценки требуется исследовать большое число тестовых частиц.

Работа посвящена изучению эффективности применения интегратора Гаусса – Эверхарта [1], который является улучшенной версией оригинального интегратора Эверхарта [2], и нового коллокационного интегратора Lobbie [3] к решению задач астероидной динамики. В процессе исследования были проведены численные эксперименты по моделированию орбит астероидов с различными эксцентриситетами, рассматривалась эффективность использования интеграторов для решения невозмущенной и возмущенной задачи двух тел, а также смешанной системы уравнений первого и второго порядков с параметром хаотичности MEGNO (Mean Exponential Growth factor of Nearby Orbits) [4].

1. Дифференциальные уравнения движения

Движение небесных тел под действием различных факторов описывается дифференциальными уравнениями (ДУ). Выбор вида уравнений играет важную роль, так как от них зависит эффективность интегрирования. В данной работе использовались уравнения движения возмущенной и невозмущенной задачи двух тел в прямоугольной гелиоцентрической системе координат, отнесенной к экватору J2000.0.

Возмущенная задача двух тел описывается системой уравнений вида

$$\ddot{\mathbf{x}} = -\frac{\mu}{r^3} \mathbf{x} + \mathbf{P}, \quad (1)$$

где $\mathbf{P}$ – возмущающее ускорение от других тел:

$$\mathbf{P} = k^2 \sum_i M_i \left(\frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}}{\Delta_i^3} - \frac{\mathbf{x}_i}{r_i^3} \right), \quad (2)$$

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-72-10022, <https://rscf.ru/project/19-72-10022/>.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>