

В связи с тем, что краевая задача является смешанной, она сводится к системе интегральных уравнений, для исследования которых применяется метод факторизации [2]. Для областей сложной конфигурации дальнейшее исследование этой системы требует применения методов геометрии многообразий.

1. *Зарецкая М. В.* Моделирование процесса массопереноса в средах со сложным характером распределения параметров// Вычислительные технологии, 2003. — Т. 8, № 5. — С. 58–62.
2. *Бабешко О. М.* Новый подход к оценке оседания веществ на разнотипные поверхности// Экологический вестник научных центров Черноморского Экономического Сотрудничества, 2004. — № 1. — С. 82–87.

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар*  
zarmv@mail.ru

УДК 521.1; 523.642

**А. А. Заусаев**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЮПИТЕРОМ\***

К малым телам Солнечной системы относятся астероиды, кометы и метеорные тела, вплоть до микронных размеров частиц. Малые тела содержат много важной информации о происхождении и эволюции Солнечной системы. Прохождение малых тел через сферу действия Юпитера часто вызывает сильные возмущения их орбит, в результате которых изменяется как форма орбиты, так и пространственное расположение орбитальной плоскости. Поэтому при исследовании эволюции орбит короткопериодических комет особое внимание уделяется их сближениям с планетами гигантами.

Под тесным сближением кометы с планетой понимается прохождение кометы через сферу действия планеты. Под умеренным сближением кометы с планетой понимается прохождение кометы в узкой окрестности этой сферы. Так, например, радиус сферы действия Юпитера определяется следующими величинами:  $\rho_{\min} = 0,307$  а. е.,  $\rho_{\max} = 0,338$  а. е. [1].

Построение теории движения любой кометы, проходящей через сферу действия Юпитера, представляет собой трудней-

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию (проект РНП.2.1.1.1689)

ший этап исследования. Основной причиной указанной трудности является наличие аномалий в движении короткопериодических комет, т. е. отклонений от гравитационной теории из-за действия сил негравитационной природы. Эта причина представляет затруднения, которые остаются непреодолимыми и в настоящее время. Например, не представляется возможным предсказать реакцию ядра кометы на выброс из него газообразного и твердого вещества. Данный процесс неразрывно связан как с химическим составом самого ядра, так и с влиянием солнечной деятельности на ядро кометы.

Известный исследователь комет Е. И. Казимирчак-Полонская отмечает [2], что одной из наиболее важных задач кометной астрономии является разработка точной методики исследования больших возмущений кометных орбит в сфере действия Юпитера и в его окрестности с целью объединения всех появлений каждой кометы независимо от ее сближений с Юпитером. Решение данной проблемы существенным образом зависит от учета физических сил в дифференциальных уравнениях движения больших планет и кометы, от применяемого метода интегрирования уравнений движения, а также учета негравитационных эффектов.

Проведено исследование эволюции 164 короткопериодических комет [3] на основе математической модели с учетом гравитационных и релятивистских эффектов, а также разработанной нами модификации алгоритма Эверхарта численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений, позволяющей повысить порядок аппроксимирующей формулы до 31-го [4]. Таким образом, нами получены высокоточные координаты больших планет и комет, эффективный современный метод численного интегрирования уравнений движения, поэтому первые два условия из указанных трех выполнены достаточно обоснованно.

Однако учет негравитационных эффектов при исследовании эволюции короткопериодических комет с высокой степенью точности возможен лишь в прошлое. Тем не менее, без учета негравитационных сил для большинства комет условия их сближений с большими планетами определены вполне удовлетворительно.

Проведенные исследования эволюции орбит короткоперио-

дических комет показали, что умеренные и тесные сближения комет с Юпитером — есть закономерное явление, которое реализуется со временем для каждой кометы семейства Юпитера. В частности, нами установлено [3], что на интервале времени с 1900 по 2100 гг. через сферу действия Юпитера проходит 75 короткопериодических комет, среди которых следующие 20 объектов имеют сближения на расстоянии менее 0,1 астрономических единиц: 16 P/Brooks 2, 39 P/Oterma, 43 P/Wolf-Harrington, 45 P/Honda-Mrkos-Pajdusakova, 52 P/Harrington-Abell, 59 P/Kearns-Kwee, 67 P/Churyumov-Gerasimenko, 76 P/West-Kohoutek-Ikemura, 78 P/Gehrels 2, 81 P/Wild 2, 82 P/Gehrels 3, 83 P/Russell 1, 87 P/Bus, 91 P/Russell 3, 104 P/Kowal 2, 111 P/Helin-Roman-Crockett, 135 P/Shoemaker-Levy 8, 139 P/Vaisala-Oterma, 147 P/Kushida-Muramatsu, 149 P/Mueller 4.

Следует особо отметить сближение кометы 59 P/Kearns-Kwee с Юпитером 13 ноября 1961 года на расстоянии 0,027615 а. е., в результате которого период обращения изменился с 76,72 лет до 8,99 лет. Если в прошлом орбита этой кометы простиралась за орбиту Нептуна, то после сближения она оказалась внутри орбиты Сатурна. А также сближения комет 76 P/West-Kohoutek-Ikemura 25 марта 1972 года на расстоянии 0,014113 а. е., 81 P/Wild 2 11 сентября 1974 года на расстоянии 0,010028 а. е., 82 P/Gehrels 3 16 августа 1970 года на расстоянии 0,001447 а. е., повлекшие за собой существенные трансформации орбит. Результаты расчетов показывают, что возможен как захват, так и выброс короткопериодических комет возмущающим действием больших планет, и, по-видимому, эти процессы равновероятны.

Время и величина сближений 140 короткопериодических комет сопоставлены с данными каталога А. Carusi, L. Kresak, G. V. Valsecchi [5]. Несмотря на различие применяемых численных теорий движения больших планет и короткопериодических комет, установлено согласование данных о времени и минимальных расстояниях сближений комет с большими планетами. Полученные результаты о времени и о размерах сближений с большими планетами могут быть использованы в качестве предварительных прогнозов для более детальных исследований данной проблемы.

1. Абалакин В. К., Аксенов Е. П., Гребенников Е. А., Демин В. Г., Рябов Ю. А. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. — М.: Наука, 1976. — 862 с.
2. Казимирчак-Полонская Е., И. Некоторые актуальные задачи кометной астрономии с современных позиций небесной механики // Тр. ИТА АН СССР, 1967. — № 12. — С. 3–23.
3. Заусаев А. Ф., Заусаев А. А. Каталог орбитальной эволюции короткопериодических комет с 1900 по 2100 гг. — М.: Машиностроение–1, 2005. — 346 с.
4. Заусаев А. А. Разработка каталога короткопериодических комет на интервале времени 1900–2100 годы // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Серия: Физ.-мат. науки, 2005. — Вып. 34. — С. 40–46.
5. Carusi A., Kresak L., Valsecchi G. B. Electronic Atlas of Dynamical Evolutions of Short-Period Comets, 1987, A&A 187, 899.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

УДК 521.1

**А. Ф. Заусаев, С. С. Денисов, Л. А. Соловьёв**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
АСТЕРОИДА 2004 FU162 НА ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ  
С 2006 ПО 2206 ГОДЫ\***

Исследование движения астероидов групп Аполлона, Амура, Атона показало, что эти астероиды могут тесно сближаться с внутренними планетами и в первую очередь с Землёй [1].

Астероид 2004 FU162 принадлежит к группе Атона. В группу Атона включаются те астероиды, большие полуоси орбит которых не превосходят большую полуось орбиты Земли, т. е.  $a \leq 1$  а. е. ( $a$  — большая полуось орбиты, 1 а. е.  $\approx 149\,597\,000$  км). В настоящее время насчитывается 322 астероида, принадлежащих к группе Атона.

Наибольший интерес представляют те астероиды, которые в процессе эволюции могут сближаться с Землёй на опасные расстояния. Выявление таких астероидов важно с целью уточнения их орбит и исследования их движения с учётом всех возможных действующих сил с применением высокоточных численных методов.

В качестве математической модели, описывающей движение астероида 2004 FU162, использованы дифференциальные

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию (проект РНП.2.1.1.1689)