Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Ф. Заусаев, А. А. Заусаев, Исследование точности вычислений методом Эверхарта орбитальной эволюции астероидов групп Аполлона, Амура, Атона и короткопериодических комет, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2008, выпуск 1(), 141–143

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu586>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.237.206.68

26 апреля 2023 г., 18:02:01

Небесная механика

УДК 521.182, 523.642

А. Ф. Заусаев, А. А. Заусаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ МЕТОДОМ ЭВЕРХАРТА ОРБИТАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АСТЕРОИДОВ ГРУПП АПОЛЛОНА, АМУРА, АТОНА И КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ

Проведено исследование эволюции орбит 190 короткопериодических комет и 291 астероида, имеющих тесные сближения с Землёй. Путём сопоставления с наблюдениями и результатами вычислений других исследователей установлена высокая степень точности проведённых исследований.

Исследование эволюции орбит малых тел Солнечной системы является важным этапом в решении проблемы, связанной с астероидной опасностью, к которой в настоящее время проявляется повышенный интерес.

С целью выявления опасных объектов, представляющих опасность столкновения с Землёй, нами проведено исследование эволюции орбит 190 короткопериодических комет и около 4000 астероидов групп Аполлона, Амура и Атона. На основании проведённых расчётов был выявлен 291 астероид, проходящих через сферу действия Земли. Результаты проведённых исследований содержатся в каталогах [1, 2].

Каждая математическая модель, лежащая в основе исследования движения небесных объектов, имеет определённые границы её применимости. Основным параметром, определяющим область применимости данной модели, является степень её точности и надёжности.

Основной проблемой при решении нелинейных дифференциальных уравнений движения является проблема численной устойчивости. В этом случае наиболее оправданным является использование сходящихся, неявных одношаговых методов [3], к числу которых относится метод Эверхарта [4].

С целью определения адекватности полученных нами данных, проведено сопоставление результатов вычислений, проведённых на основе математической модели, описанной в работах [1, 2], с применением модифицированного метода Эверхарта 27-го порядка [1, 4], путём интегрирования назад до дат предыдущих прохождений короткопериодических комет через перигелий, а также сравнение с данными сближений астероидов с Землёй.

Результаты вычислений орбитальной эволюции короткопериодических комет сопоставлялись с данными каталога Марсдена [5]. Указанный каталог содержит элементы орбит всех известных как периодических, так и непериодических комет на моменты произошедших прохождений их через перигелий, каталог является согласованным с наблюдениями.

В табл. 1 приведены разности в элементах орбит комет, рассматриваемых нами в каталоге [1], полученных на основе численного интегрирования модифицированным методом Эверхарта уравнений движения короткопериодических комет [1], с данными каталога Марсдена [5]. Здесь T — время, ΔM (град.), Δa (а. е.), Δe , ΔP (годы), $\Delta \omega$ (град.), $\Delta \Omega$ (град.), Δi (град.) — невязки в средней аномалии, большой полуоси, эксцентриситете, периоде обращения, аргументе перигелия, долготе восходящего узла и наклонении.

Из всех элементов орбит, приведённых в табл. 1, наибольшему изменению в процессе эволюции подвержена средняя аномалия. В момент прохождения кометы через перигелий значение средней аномалии равно нулю. Поэтому по значению ΔM в момент прохождения через перигелий можно судить о степени точности применяемой модели.

Давая оценку точности полученных оскулирующих элементов орбит короткопериодических комет, можно сделать следующий вывод: для большинства комет элементы орбит получены с высокой степенью точности и могут быть использованы при организации и планировании наблюдений этих объектов и прогнозирования их движения.

Следует отметить, что в данном исследовании не учитывались негравитационные силы, поэтому для комет, имеющих значительные расхождения в элементах орбит, следует вводить учёт негравитационных сил в уравнениях движения.

Таблица 1

Отличие полученных орбитальных элементов короткопериодических комет от данных каталога Марсдена

Комета	T	ΔM	Δa	Δe	ΔP	$\Delta \omega$	$\Delta \Omega$	Δi
1P	1910 Apr. 20,18	0,0002	0,000166	0,000001	0,0028	0,0006	0,0007	0,0002
2P	1901 Sept. 15,97	1,4976	0,001271	0,000137	0,0076	0,0207	0,0123	0,0025
4P	1910 Nov. 2,35	0,0499	0,000340	0,000153	0,0020	0,0434	0,0451	0,0058
6P	1910 Sept. 16,89	0,1170	0,000919	0,000517	0,0048	0,0189	0,0156	0,0244
7P	1909 Oct. 9,79	0,0187	0,000114	0,000018	0,0032	0,0070	0,0003	0,0074
8P	1912 Oct. 28,97	0,1441	0,000553	0,000013	0,0079	0,0003	0,0008	0,0002
9P	1967 Jan. 12,70	0,0331	0,000067	0,000013	0,0034	0,0007	0,0001	0,0000
10P	1904 Nov. 10,94	0,1543	0,000043	0,000058	0,0013	0,0011	0,0001	0,0006
14P	1912 Feb. 24,26	0,4411	0,001339	0,000441	0,0002	0,0508	0,0015	0,0030
15P	1906 Sept. 8,86	0,0618	0,000255	0,000095	0,0015	0,0722	0,0450	0,0031
17P	1906 Mar. 14,70	0,0172	0,000136	0,000084	0,0038	0,0148	0,0023	0,0003
19P	1905 Jan. 17,29	0,7302	0,000687	0,000057	0,0059	0,0347	0,0081	0,0140
21P	1900 Nov. 28,50	1,2804	0,001610	0,000115	0,0091	0,0294	0,0123	0,0141

Для исследования вопроса о точности вычисления орбитальной эволюции астероидов групп Аполлона, Амура, Атона, проведены аналогичные сопоставления с данными Гарвардского университета¹, а также выполнено сопоставление времени и величин сближений для астероидов, наиболее близко прошедших от Земли. В табл. 2 приведено сопоставление результатов вычисления тесных сближений 10 астероидов, наиболее близко проходящих от Земли, полученных нами, с данными Гарвардского университета.

Таблица 2

Сопоставление результатов расчёта тесных сближений астероидов групп Аполлона и Атона с Землёй

Астероид	Дата	Сближения, а. е. (расчёт по мет. Эверхарта)	Сближения, а. е. (данные Гарварск. ун-та)	Отклонение, а. е.
Aten 2004 FU162	2004 Mar. 31,65	0,000086	0,000086	0
Apollo 2004 YD5	2004 Dec. 19,86	0,000266	0,000226	0,000040
Aten 2004 FH	2004 Mar. 18,92	0,000328	0,000328	0
Apollo 2003 SQ222	2003 Sept. 27,96	0,000565	0,000564	0,000001
Apollo 2005 WN3	2005 Nov. 26,02	0,000614	0,00056	0,000054
Apollo 1994 XM1	1994 Dec. 9,79	0,000701	0,00072	0,000019
Apollo 2006 DD1	2006 Feb. 23,29	0,000785	0,000785	0
Apollo 2002 XV90	2002 Dec. 11,35	0,000788	0,000788	0
Apollo 2005 TK50	2005 Oct. 10,18	0,000919	0,00082	0,000099
Aten 2005 FN	2005 Mar. 18,91	0,000963	0,000963	0

В табл. 3 приведено сопоставление результатов прогноза тесных сближений астероидов групп Аполлона, Амура, Атона, полученных нами, с результатами, размещёнными на сайте NeoDys².

Различия в прогнозе тесных сближений астероидов с большими планетами могут быть обусловлены следующими причинами: выбором математической модели, описывающей движение небесных объектов, методами решения дифференциальных уравнений движения, начальными данными исследуемых небесных тел и т.д.

Несмотря на то, что сближения астероидов с Землёй приведённые в табл. 3 получены на основании различных начальных данных элементов орбит астероидов, относящихся к другой эпохе оскуляции, другими методами, результаты прогноза тесных сближений астероидов вполне удовлетворительны.

¹<http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/Closest.html>

²<http://hamilton.dm.unipi.it/cgi-bin/astdys/>

Таблица 3

Сопоставление результатов расчёта тесных сближений астероидов групп Аполлона и Атона с Землёй

Астероид	Дата	Сближения, а. е. (расчёт по мет. Эверхарта)	Сближения, а. е. (данные сайта NeoDys)	Отклонение, а. е.
Aten 2004 MN4	2029 Apr. 13,91	0,000258	0,000255	0,000003
Apollo 2001 GP2	2020 Oct. 03,55	0,007987	0,0080327	0,000046
Apollo 2005 YU55	2011 Nov. 08,95	0,001507	0,003346	0,001839
Apollo 2005 XA8	2005 Dec. 05,45	0,001457	0,001452	0,000005
Apollo 2001 WN5	2028 Jun. 26,25	0,001664	0,001663	0,000001
Apollo 2003 YS70	2003 Dec. 27,05	0,004228	0,004226	0,000002
Apollo 2003 UM3	2003 Oct. 12,15	0,001822	0,001855	0,000033
Apollo 2003 DW10	2003 Mar. 3,15	0,003655	0,003622	0,000033
Apollo 2005 VL1	2049 Feb. 02,20	0,005074	0,005300	0,000226
Apollo 1999 AN10	2027 Aug. 07,30	0,002603	0,002608	0,000005

Таким образом, полученные нами данные об эволюции астероидов групп Аполлона, Амура, Атона и короткопериодических комет в каталогах [1, 2] являются адекватными. Следовательно, используемая математическая модель и применяемый метод численного интегрирования могут быть использованы при математическом моделировании эволюции указанных объектов на интервалах времени порядка нескольких сотен лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию (проект № РНП.2.1.1.1689).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заусаев, А. Ф. Каталог орбитальной эволюции короткопериодических комет с 1800 по 2204 гг. [Текст] / А. Ф. Заусаев, А. А. Заусаев. — М.: Машиностроение-1, 2007. — 410 с.
2. Заусаев, А. Ф. Каталог орбитальной эволюции астероидов, сближающихся с Землёй с 1800 по 2204 гг. [Текст] / А. Ф. Заусаев, В. В. Абрамов, С. С. Денисов. — М.: Машиностроение-1, 2007. — 607 с.
3. Холл, Д. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Д. Холл, Д. Уатт. — М.: Мир, 1979. — 312 с.
4. Everhart, E. Implist single methods for integrating orbits [Text] / E. Everhart // Central Mechanics. — 1974. — No. 10. — P. 35-55.
5. Marsden, B. G. Catalogue of Cometary Orbits 1999 [Text] / B. G. Marsden, G. V. Williams. — Central Bureau for Astronomical Telegrams and Minor Planet Center. 1999. 13th ed.

Самарский государственный технический университет, г. Самара
Zausaev_AF@mail.ru; ZausaevAA@mail.ru

Поступила 01.12.2007

A. F. Zausaev, A. A. Zausaev

THE INVESTIGATION OF PRECISION BY EVERHART METHOD OF ORBITAL EVOLUTION OF THE ASTEROIDS APOLLO, AMUR, ATEN GROUPS AND SHORT-PERIOD COMETS

Investigation of evolution of the orbits 190 asteroids having closely approach with Earth is carried. The results of calculations with other investigators are compared. In the foundation compare with the observation and calculation with other investigators the high extent of precise the carried investigation is notes.

Samara State Technical University, Samara, Russia
Zausaev_AF@mail.ru; ZausaevAA@mail.ru

Received 01.12.2007