Общероссийский математический портал

А. А. Заусаев, Разработка каталога короткопериодических комет на интервале времени 1900–2100 гг., *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2005, выпуск 34, 40–46

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu335>

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: 54.164.48.24

26 апреля 2023 г., 16:04:08

Астрометрия и небесная механика

УДК 521.1:521.4

А.А. Заусаев

РАЗРАБОТКА КАТАЛОГА КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ НА ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ 1900-2100 гг.

Исследована эволюция орбит короткопериодических комет с учетом гравитационных и релятивистских эффектов. Предлагается проект каталога короткопериодических комет.

В настоящее время в связи с бурным развитием численных теорий движения больших планет Солнечной системы возрос интерес к малым телам, способным сближаться с Землей. К этим телам, наряду с астероидами групп Аполлона, Амура, Атона, относятся короткопериодические кометы, а также крупные фрагменты в метеорных роях.

При изучении процессов эволюции небесных тел кометы представляют особый интерес, так как считается, что они являют собой изначальный тип объектов Солнечной системы. Предполагается, что кометы позволяют изучить первичное вещество Солнечной системы в сравнительно неизменном состоянии, поскольку они, в отличие от планет, не подверглись существенным структурным изменениям в результате силы тяжести, тепла и вулканической деятельности. Выдвигаются гипотезы, что ядра комет образовались еще до формирования планет, около 4,6 миллиардов лет тому назад. Совместными усилиями таких выдающихся астрономов, как Эпик, Оорт, Марсен, Секанина, Эверхарт, Штейне, Казимирчак-Полонская была доказана реальность существования на периферии Солнечной системы (на расстоянии 50000 - 150000 а.е. от Солнца) неистощимого резервуара кометных ядер, которое получило название «облака Эпика-Оорта».

Расчеты, выполненные различными исследователями комет, показывают, что диаметры кометных ядер лежат в интервале от нескольких сотен метров до нескольких десятков километров. Среди гипотез относительно состава ядер, наибольшим признанием пользуется гипотеза американского астронома Ф.Уиппла. Согласно его теории ядро является конгломератом из тугоплавких каменных частиц и замороженных летучих компонент, среди которых вода, циановодород, углекислый газ, сульфид углерода и др. Ледяные слои из замороженных газов чередуются с пылевыми слоями. При приближении кометы к Солнцу лед под действием солнечного тепла начинает испаряться, а улетающий газ образует вокруг ядра диффузную светящуюся сферу, называемую комой. Кома может достигать в поперечнике миллиона километров.

Элементы орбит комет претерпевают значительные изменения при сближениях с планетами. Наиболее заметные изменения происходят при сближении кометы с одной из планет-гигантов. Это обстоятельство необходимо учитывать при исследовании вековых изменений элементов орбит, как в прошлом, так и в будущем. Данные расчеты позволяют установить, откуда кометные ядра приходят во внутренние области Солнечной системы, а также решить проблему происхождения кометных тел.

В небесной механике вычисление эволюции орбит комет считается одной из самых трудных задач, разрешимой только посредством трудоемкого численного интегрирования.

Впервые точные расчеты орбитальной эволюции на длительных интервалах времени были произведены в 60-х годах прошлого столетия Е.И.Казимирчак-Полонской, Б.Г.Марсденом, Н.А.Беляевым, Э.Эверхартом. В настоящее время благодаря стремительному развитию средств вычислительной техники количество работ в этой области существенно возросло. Путем объединения разрозненной информации был создан ряд каталогов кометных орбит.

Первый кометный каталог был составлен Галлеем в 1705 году. Он включил в себя 24 параболические орбиты, и в процессе работы над каталогом была обнаружена первая короткопериодическая комета, впоследствии названная именем Галлея.

В настоящее время наиболее полным и авторитетным кометным каталогом является каталог Марсдена. Он содержит элементы орбит всех известных как периодических, так и непериодических комет на моменты прохождения их через перигелий.

В 1986 г. Совместными усилиями ИТА АН СССР (г. Ленинград) и Астрономическим институтом Словацкой Академии Наук (г. Братислава) был создан международный каталог короткопериодических комет. Эта работа содержит сведения о процессах и явлениях, воздействующих на орбитальную эволюцию короткопериодических комет. Для всех объектов, наблюдавшихся более чем в одном появлении, интегрирование выполнено для исходных орбит назад до даты *1800 январь 25.0* и вперед до даты *2000 январь 17.0*. Вычисление орбитальной эволюции проводилось квадратурным методом Коуэлла с учетом разностей до четвертого порядка. Негравитационные эффекты учтены в 31 случае [1].

Наряду с каталогом Н.А.Беляева, Л.Кресака и др., содержащего энциклопедическую информацию о 81-ной короткопериодической комете, следует отметить ранее изданные каталоги Хасегавы (1968) и Карузи (1985).

Более поздний каталог Л.Кресака содержит информацию об орбитальной эволюции наблюдаемых короткопериодических комет на интервале времени 821.4 года с 1585 (*JD 2300000.5*) по 2406 (*JD 2600000.5*) гг. для 132 комет с периодом обращения менее 200 лет. Несомненным достоинством каталога Л.Кресака и др., является использование более современной теории движения больших планет DE 102 при совместном численном интегрировании уравнений движения кометы с учетом возмущений от планет и Солнца. Кроме того, список исследуемых комет всего за 15 лет пополнился с 81, содержащихся в каталоге Беляева, до 132 в каталоге Кресака.

В связи с тем, что список вновь открываемых комет растет, а также появляются новые наблюдения известных комет, возникает потребность в постоянном обновлении каталогов.

При исследовании эволюции орбит небесных объектов точность полученных результатов зависит от ряда факторов, основными из которых являются: учет физических моделей действующих сил; точность аппроксимирующей формулы численного метода интегрирования; устойчивость, как самой задачи, так и численного метода.

Дифференциальные уравнения, описывающие движение исследуемого объекта, должны учитывать действие основных возмущающих сил, несферичность больших планет, релятивистские эффекты. От того, насколько полно учитываются главные силы, действующие на исследуемое тело, зависит точность результатов, полученных применяемым методом.

Методы численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений для исследования движения кометы Галлея впервые применил А.Клеро в XVII в. Дальнейшее развитие эти методы получили в трудах выдающихся математиков Ж.Даламбера, Л.Эйлера, К.Гаусса и других.

В XX в. в связи с развитием электронно-вычислительной техники произошло стремительное развитие многих разделов вычислительной математики, а также численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Дж.Батчером были построены алгоритмы методов Рунге-Кутты вплоть до десятого порядка, Д.К.Куликовым были получены многошаговые алгоритмы Коуэлла 8-10-го порядков, Ш.Когеном и Э.Хаббартом методы Адамса-Мултона развиты до 16 порядка, В.М.Мячиным и О.А.Сизовой разработаны методы тейлоровых разложений для задачи n тел. Грэггом, Булиршом, Штером созданы алгоритмы рациональной экстраполяции, Эверхартом получен неявный одношаговый метод типа Рунге-Кутты до 19-го порядка и т.д.

Характерной особенностью всех современных методов является высокий порядок аппроксимирующих формул, что позволяет увеличить сходимость метода и уменьшить ошибку округления за счет увеличения шага интегрирования по сравнению с методами более низкого порядка.

Одним из эффективных методов численного интегрирования уравнений движения небесных объектов является метод Эверхарта [2], относящийся к числу неявных одношаговых методов. Повышение порядка этого метода связано с нахождением узлов разбиения основного шага интегрирования, значения которых совпадают с узлами квадратурной формулы Гаусса-Радона.

Нами получены узлы разбиения отрезка $[0,1]$ на подшаги для нечетных порядков метода с 9 по 33 [3]. Первоначально при практическом использовании применялись методы Эверхарта 11-го, 15-го и 19-го порядков. Впоследствии порядок метода был увеличен до 27. Однако увеличение порядка метода, начиная с 19-го, не приводило к повышению его эффективности.

Путем модификации алгоритма нами разработана программа на языке С++, позволяющая использовать метод Эверхарта до 31-го порядка. Применение данной программы для решения уравнений движения больших планет и Луны показало, что с увеличением порядка эффективности метода возрастает. При этом удвоение шага интегрирования без потери точности соответствует повышению порядка метода на 4 единицы, в то время как затраты машинного времени возрастают в 1,2 раза. Более подробно алгоритм применения метода Эверхарта освещен нами в работах [3, 4].

Каталоги короткопериодических комет содержат полезную информацию о распределении комет в Солнечной системе, дают общее представление об эволюции элементов орбит с течением времени. Кроме того, в каталогах содержится информация о тесных сближениях с большими планетами, что важно для планирования и организации наблюдений за этими объектами. Однако, наряду с вышеуказанной информацией, во всех каталогах элементы орбит приводятся на дискретные моменты времени (с шагом), разделенные по времени несколькими десятками или сотнями лет. В течение этих промежутков короткопериодические кометы могут сделать несколько оборотов, при этом информация на определенные моменты времени об элементах орбит неизвестна.

Чтобы устранить этот недостаток, нами предлагается электронный вариант каталога короткопериодических комет. Для организации работы этого каталога нами был создан банк данных координат больших планет на интервале времени 500 лет. Координаты и скорости больших планет, Луны и Солнца с шагом 100 дней в барицентрической системе, хранятся во внешней памяти. Начальные данные координат больших планет, Луны и Солнца взяты из работы Стэндиша и др. [5]

Все предыдущие каталоги были составлены на основании решения стандартной задачи n тел, а расхождения с реальными наблюдениями устранялись путем искусственного введения так называемых негравитационных эффектов, не имеющих четких физических обоснований. Нами за основу были взяты уравнения движения с учетом гравитационных и релятивистских эффектов, используемых американскими небесными механиками Ньюхаллом, Стэндишем и Вильямсом [6] для создания банка данных координат больших планет и Луны.

При прогнозировании движения больших планет на тысячелетнем интервале времени учитывались релятивистские эффекты от взаимного влияния планет друг на друга. В работах [7,8] нами было исследовано влияние релятивистских эффектов на движение комет и показана необходимость их учета.

Уравнения движения с учетом этих эффектов приведены в работе [6] и имеют следующий вид:

$$\ddot{\mathbf{r}}_i = \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)}{r_{ij}^3} \left\{ 1 - \frac{2(\beta + \gamma)}{c^2} \sum_{k \neq i} \frac{\mu_k}{r_{ik}} - \frac{2\beta - 1}{c^2} \sum_{k \neq j} \frac{\mu_k}{r_{jk}} + \gamma \left(\frac{v_i}{c} \right)^2 + (1 + \gamma) \left(\frac{v_j}{c} \right)^2 - \right. \\ \left. - \frac{2(1 + \gamma)}{c^2} \dot{\mathbf{r}}_i \cdot \dot{\mathbf{r}}_j - \frac{3}{2c^2} \left[\frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \cdot \dot{\mathbf{r}}_i}{r_{ij}} \right]^2 + \frac{1}{2c^2} (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \cdot \ddot{\mathbf{r}}_j \right\} + \frac{1}{c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j}{r_{ij}^3} \{ [(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)] \times \\ \times [(2 + 2\gamma)\dot{\mathbf{r}}_i - (1 + 2\gamma)\dot{\mathbf{r}}_j] \} (\dot{\mathbf{r}}_i - \dot{\mathbf{r}}_j) + \frac{3 + 4\gamma}{2c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j \ddot{\mathbf{r}}_j}{r_{ij}} + \sum_{m=1}^N \frac{\mu_m (\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_i)}{r_{im}^3}, \quad (1)$$

где $\mathbf{r}_i, \dot{\mathbf{r}}_i, \ddot{\mathbf{r}}_i$ - координаты, скорости, ускорения в барицентрической системе координат i -того тела; $\mu_i = k^2 m_j$, где k^2 - гравитационная постоянная и m_j - масса j -того тела; $r_{ij} = |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|$, β и γ - релятивистские параметры, $\beta = \gamma = 1$; $v_i = |\dot{\mathbf{r}}_i|$ и c - скорость света.

Система дифференциальных уравнений описывает закон движения Солнца, девяти больших планет и Луны в барицентрической системе координат и является основной при создании современных теорий движения DE 403, DE 405.

Следует отметить, что в публикации [6] в формуле (1) допущена опечатка: вместо члена

$$\frac{3}{2c^2} \left[\frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \dot{\mathbf{r}}_j}{r_{ij}} \right]^2 \text{ должно быть } \frac{3}{2c^2} \left[\frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \dot{\mathbf{r}}_i}{r_{ij}} \right]^2.$$

В уравнения (1) при исследовании движения Луны вводятся дополнительные силы, учитывающие несферичность фигур Луны и Земли.

Координаты сил притяжения с учетом зональных и тессеральных гармоник имеют следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \ddot{\xi} \\ \ddot{\eta} \\ \ddot{\zeta} \end{bmatrix} = -\frac{\mu}{r^2} \left\{ \sum_{n=1}^{n_1} J_n \left(\frac{a}{r} \right)^n \begin{bmatrix} (n+1)P_n(\sin \varphi) \\ 0 \\ -\cos \theta P'_n(\sin \varphi) \end{bmatrix} + \sum_{n=1}^{n_2} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=1}^n \begin{bmatrix} -(n+1)P_n^m(\sin \varphi)[C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] \\ m \sec \varphi P_n^m(\sin \varphi)[-C_{nm} \sin m\lambda + S_{nm} \cos m\lambda] \\ \cos \varphi P_n^m(\sin \varphi)[C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] \end{bmatrix} \right\}. \quad (2)$$

На рисунке изображена система координат, для которой вычисляются ускорения от несферичности тела. Гравитационные эффекты в уравнениях (2) благодаря несферичности фигур планет включают: силу притяжения с учетом зональных гармоник до 4-го порядка от Земли и точечных масс Луны и Солнца; силу притяжения с учетом зональных гармоник до 4-го порядка и 3-го порядка тессеральных гармоник от Луны и точечных масс Земли и Солнца.

Вклад в инерциальное ускорение от несферического тела возникает от взаимодействия ее собственной фигуры с внешней точечной массой, представленной в координатной системе $\xi\eta\zeta$, где ось ξ направлена вовне от несферического тела к точечной массе, ось η - направлена на восток (лежит в селенографической плоскости XY , перпендикулярно оси ξ) и ось ζ направлена на север, образуя правую систему координат.

Система координат $\xi\eta\zeta$, в которой рассчитываются ускорения от несферического тела

Кроме того, нами учитывалось влияние пояса астероидов, главным образом на Марс и Юпитер. Координаты и скорости планет на интервале времени 500 лет были сопоставлены с данными координат и скоростей DE 405. На всем исследуемом интервале времени максимальные расхождения не превышали $1 \cdot 10^{-6}$ а.е. Для внутренних планет были проведены сопоставления взаимных расстояний между планетой и Землей с радиолокационными наблюдениями.

Аналогичный банк данных координат и скоростей был получен для 140 комет на интервале времени 1900 - 2100 гг. на те же моменты, что и для больших планет. Координаты кометы на любой момент времени в интервале с 1900 по 2100 гг. определяются путем совместного интегрирования уравнений движения больших планет и кометы в пределах 100 дней.

Нами создан ряд сервисных программ, позволяющих проводить совместное интегрирование уравнений движения больших планет и кометы с помощью координат и скоростей; вычислять элементы орбит и решать обратную задачу; находить минимальные расстояния между кометой и любой из планет; переводить всемирное время в юлианскую дату и обратно и т.д. С помощью сервисных программ и банка данных координат и скоростей больших планет, Луны, Солнца и комет можно получать любую информацию о динамических параметрах 140 комет на любой момент времени в интервале 1900 - 2100 гг.

Наряду с электронным вариантом готовится каталог короткопериодических комет, содержащий сведения об изменении элементов орбит, сближениях с большими планетами на дискретные моменты времени с шагом 10 лет на интервале с 1900 по 2100 гг.

В табл. 1 и 2 приведен макет разрабатываемого каталога на примере короткопериодических комет Галлея (*1 P/Halley*) и Энке (*2 P/Encke*).

Для каждой кометы в каталоге приводятся следующие данные.

1. Краткие сведения об изучаемом объекте.
2. Элементы орбит с шагом 10 лет на момент начала года с 1900 по 2100 гг. Эволюцию орбиты можно проследить по изменению элементов орбит, таких как: M - средняя аномалия (в градусах); a - большая полуось (в астрономических единицах); e - эксцентриситет; P - период (в годах); ω - аргумент перигелия (в градусах); Ω - долгота восходящего узла (в градусах); i - наклонение (в градусах), а также эклиптическая долгота и широта L и B (в градусах). Все угловые величины отнесены к эклиптике и равноденствию эпохи 2000.0.

3. Тесные сближения с внутренними планетами для взаимных расстояний $\Delta \leq 0.1$ и с внешними планетами для $\Delta \leq 0.3$.

4. Постоянная Тиссерана Γ по отношению к Юпитеру, характеризующая индивидуальные признаки кометы.

Динамические параметры кометы 1 P/Halley

P/Halley	1
----------	---

Наблюдалась невооруженным глазом, начиная с 25 мая -239 г. В 1705 г. Галлеем был создан каталог 24 параболических комет, на основании которого им было доказано, что комета является периодической. В 1986 г. исследовалась структура состава кометы с помощью космических аппаратов Вега 1 и Вега 2.

Орбитальная эволюция

Epoch	M	a	e	P	ω	Ω	i	L	B
1900 01 01	310.4989	17.760631	0.966489	74.85	110.9576	57.8536	162.3726	305.9591	16.4269
1910 01 01	358.5857	17.956812	0.967300	76.09	111.7387	58.5618	162.2182	305.8410	16.4797
1920 01 01	45.9701	17.935121	0.967942	75.96	111.8892	58.8890	162.2285	306.0135	16.4523
1930 01 01	93.2386	17.941824	0.967617	76.00	112.5422	59.4599	162.1701	305.9018	16.4272
1940 01 01	140.5399	17.937007	0.966942	75.97	112.7566	59.6259	162.1372	305.8420	16.4311
1950 01 01	188.5134	17.925824	0.966611	75.90	111.8027	58.6997	162.2447	305.9157	16.4476
1960 01 01	236.3362	17.938173	0.966668	75.97	111.2128	58.1531	162.3278	305.9893	16.4394
1970 01 01	283.7968	17.951231	0.967508	76.06	111.7488	58.6565	162.2668	305.9308	16.4336
1980 01 01	331.2154	18.001285	0.967898	76.38	112.2230	59.0800	162.1940	305.8550	16.4442
1990 01 01	18.4035	17.959839	0.967587	76.11	111.8168	58.9259	162.2492	306.1279	16.4418
2000 01 01	65.8522	17.919737	0.967266	75.86	112.4497	59.5079	162.1960	306.0485	16.4148
2010 01 01	113.8426	17.876507	0.966600	75.58	111.8091	58.8442	162.2425	306.0533	16.4489
2020 01 01	161.8848	17.866278	0.966298	75.52	111.0829	58.1457	162.3192	306.1156	16.4623
2030 01 01	209.7188	17.869785	0.967244	75.54	111.2668	58.3671	162.3078	306.1452	16.4518
2040 01 01	257.5037	17.883395	0.967941	75.63	111.5799	58.6535	162.2792	306.1041	16.4419
2050 01 01	304.9204	17.869387	0.967730	75.54	112.0813	59.1273	162.1925	306.0489	16.4626
2060 01 01	352.5684	17.880866	0.967254	75.61	111.9254	59.0227	162.1856	306.1048	16.4875
2070 01 01	41.6434	17.461521	0.965392	72.97	113.4130	60.6265	161.9858	306.1454	16.4866
2080 01 01	91.4151	17.418348	0.964710	72.70	112.9162	60.1124	162.0242	306.1499	16.5145
2090 01 01	141.2074	17.409949	0.965359	72.64	112.8384	60.1351	162.0374	306.2547	16.5122
2100 01 01	190.9669	17.414137	0.966121	72.67	112.8838	60.2113	162.0426	306.2845	16.5017

Тесные сближения с большими планетами

Планета	Дата	Расстояние
Венера	1985 12 22	0.061489
Венера	2061 8 18	0.067909

Постоянная Тиссерана

$T = -0.116467$

Начальные данные

T	Epoch	q	e	P	ω	Ω	i
1986 2 9.4589	86 2 19	0.587104	0.967277	76.00	111.8657	58.8601	162.2422

1	P/Halley
---	----------

Эволюция перигелийного расстояния

Эволюция эксцентриситета

Эволюция наклонения

Эволюция перицентра

Таблица 2

Динамические параметры кометы 2 P/Encke

2 P/Encke	2
------------------	----------

Открыта 17 января 1786 г. Потеряна для последующих двух обращений. Имеет самый короткий период из всех известных короткопериодических комет. Наибольшее возмущающее действие на эволюцию кометной орбиты оказывает Юпитер, так как в афелии комета сближается с ним на расстояние около 1 а.е.

Орбитальная эволюция

Epoch	M	a	e	P	ω	Ω	i	L	B
1900 01 01	172.4961	2.216936	0.846318	3.30	183.9980	336.1994	12.9157	160.0966	-0.8929
1910 01 01	180.9962	2.215578	0.847332	3.30	184.6430	335.7523	12.5930	160.2841	-1.0112
1920 01 01	192.2460	2.217674	0.846514	3.30	184.6866	335.7123	12.5480	160.2874	-1.0171
1930 01 01	203.8611	2.208961	0.849572	3.28	184.9102	335.5936	12.5618	160.3868	-1.0667
1940 01 01	218.7861	2.217819	0.846895	3.30	185.1227	335.5488	12.4045	160.5525	-1.0990
1950 01 01	228.6035	2.217089	0.846934	3.30	185.1646	335.4366	12.3809	160.4817	-1.1059
1960 01 01	239.8988	2.215892	0.847124	3.30	185.2264	335.4336	12.3683	160.5394	-1.1180
1970 01 01	248.3074	2.217037	0.847225	3.30	185.9298	334.9366	11.9842	160.7380	-1.2292
1980 01 01	258.4279	2.218817	0.846735	3.31	185.9575	334.9082	11.9524	160.7374	-1.2317
1990 01 01	269.7666	2.209024	0.850150	3.28	186.2340	334.7460	11.9437	160.8460	-1.2877
2000 01 01	284.5953	2.217551	0.847055	3.30	186.4693	334.6328	11.7649	160.9673	-1.3164
2010 01 01	294.9786	2.215414	0.848263	3.30	186.5223	334.5732	11.7846	160.9592	-1.3293
2020 01 01	307.1089	2.215168	0.848004	3.30	186.5610	334.5560	11.7653	160.9803	-1.3350
2030 01 01	314.8814	2.218304	0.847075	3.30	187.3148	334.0040	11.3352	161.1776	-1.4340
2040 01 01	324.1285	2.219630	0.846866	3.31	187.3558	333.9753	11.3129	161.1898	-1.4392
2050 01 01	335.0505	2.209563	0.850630	3.28	187.7107	333.7442	11.2668	161.3081	-1.5021
2060 01 01	349.3522	2.217526	0.847658	3.30	187.9240	333.6112	11.1007	161.3887	-1.5210
2070 01 01	0.2271	2.213559	0.849219	3.29	188.0130	333.5622	11.1252	161.4265	-1.5413
2080 01 01	13.0938	2.214329	0.848964	3.30	188.0317	333.5414	11.1105	161.4245	-1.5428
2090 01 01	19.8074	2.220079	0.846923	3.31	188.8246	332.9450	10.6572	161.6197	-1.6257
2100 01 01	28.0830	2.220580	0.846915	3.31	188.8630	332.9270	10.6425	161.6399	-1.6305

Тесные сближения с большими планетами

Планета	Дата	Расстояние	Планета	Дата	Расстояние
Меркурий	1905 1 25	0.094750	Меркурий	2013 11 19	0.027628
Меркурий	1928 2 18	0.083184	Меркурий	2037 1 11	0.078452
Меркурий	1947 11 27	0.061415	Меркурий	2079 11 13	0.050877
Меркурий	1971 1 10	0.059463	Меркурий	2093 2 11	0.071085

Постоянная Тиссерана

$\Gamma=0.581544$

Начальные данные

T	Epoch	q	e	P	ω	Ω	i
1997 5 23.5967	97 6 1	0.331395	0.850014	3.28	186.2720	334.7215	11.9296

2	P/Encke
----------	----------------

Эволюция перигелийного расстояния

Эволюция эксцентриситета

Эволюция наклонения

Эволюция перицентра

5. Начальные данные элементов орбит для численного интегрирования. В качестве источника использовался каталог Марсдена издания 1999 года.

6. Графики изменения элементов орбит: q - перигелийного расстояния (в астрономических единицах), e - эксцентриситета; i - наклонения (в градусах); π - долготы перигелия (в градусах). Графики построены на основании данных, выведенных с шагом 1 год.

Расчет эволюции произведен методом Эверхарта 27 порядка с шагом интегрирования 3 дня.

Следует отметить, что негравитационные силы в данном исследовании не учитывались, поэтому на основании имеющейся информации можно строить различные уточняющие физические модели для полного согласования теоретического прохождения кометы через перигелий с наблюдаемым.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беляев Н.А., Кресак Л., Питтхис Э.М., Пушкарев А.Н.* Каталог короткопериодических комет. Братислава, 1986. 398 с.
2. *Everhart E.* Implicit single methods for integrating orbits // *Celestial mechanics*. 1974. №10. P.35-55.
3. *Заусаев А.Ф., Заусаев А.А., Ольхин А.Г.* Оценка точности метода Эверхарта при решении уравнений движения больших планет на интервале времени 10 000 лет // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки*. 2004. № 30. С.108-113.
4. *Заусаев А.Ф., Заусаев А.А., Ольхин А.Г.* Применение метода Эверхарта 31 порядка для решения уравнений движения больших планет // *Труды ГАИШ. Т.LXXV. Тез. докл. Всеросс. научн. конф. ВАК-2004. М.: МГУ. С.209-210.*
5. *Standish E.M.* JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405 // *Jet Prop Lab Technical Report. IOM 312.F-048*. 1998. P.1-7.
6. *Newhall X.X., Standish E.M., Williams Jr. and J.G.* DE 102: a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries // *Astron.Astrophys*. 1983. № 125. P.150-167.
7. *Заусаев А.А.* Исследование влияния релятивистских эффектов на движение короткопериодических комет // *Труды ГАИШ. Т.LXXV. Тез. докл. Всеросс. научн. конф. ВАК-2004. М.: МГУ. С.226-227.*
8. *Заусаев А.А.* Исследование вклада релятивистских эффектов в эволюцию короткопериодических комет // *Мат. моделирование и краевые задачи: Тр. Всерос. научн. конф. Ч.3. Самара: СамГТУ. 2004. С.116-119.*

Поступила 16.12.2004 г.

УДК 521.1

А.Г. Ольхин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ

Проведено сравнение нескольких видов уравнений движения больших планет и на основании данных радиолокационных наблюдений сделан вывод о применимости каждого из них. Описан метод, позволяющий повысить эффективность применения модели за счет снижения количества вычислений.

В настоящее время существует множество численных теорий описания движения больших планет. Они различаются между собой методами численного интегрирования, начальными данными и математической моделью. В данной работе рассматриваются различные математические модели, при этом учитывается, что численный метод, используемый для их реализации, удовлетворяет необходимым условиям по точности в пределах рассматриваемого периода времени. Критерием успешности теории является, прежде всего, то, насколько она хорошо согласуется с опытными данными. Данные наблюдений, учитываемые при создании современных численных теорий, включают в себя многочисленные оптические, радиолокационные, лазерные и другие виды наблюдений, причем число их измеряется десятками тысяч и постоянно пополняется. Понятно, что для такого большого числа наблюдений сравнительный анализ занимает значительное время. Однако это время можно сократить, если учесть тот факт, что не все наблюдения имеют одинаковую погрешность и полноту, а также то, что существуют теории, которые уже достаточно хорошо согласуются с данными наблюдений. Наилучших результатов, по нашему мнению, можно добиться комбинированием этих двух подходов. Наименьшей погрешностью обладают данные лазерных наблюдений – ошибка не превышает нескольких метров, однако они ограничены только одним объектом – Луной. Данные оптических наблюдений