

УДК 523.6, 615.851

Н. Коваленко, канд. фіз.-мат. наук,
Р. Гулієв, наук. співроб. Шемахінської астрофізичної обсерваторії (Азербайджан),
К. Чурюмов, д-р фіз.-мат. наук, проф.
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ПРО НАХИЛИ ОРБІТ ДАМОКЛОЇДІВ В ХОДІ ДИНАМІЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ

На сьогодні відомо 93 Дамоклоїди, деякі з цих астероїдів рухаються по ретроградних орбітах. Припускається, що Дамоклоїди є неактивними ядрами комет галлеївського типу. Було проведено моделювання орбітальної еволюції Дамоклоїдів на 1 млрд років в минуле та майбутнє, з використанням пакету інтегрування SWIFTER. Результати обговорюються.

Ключові слова: Дамоклоїди, орбітальна еволюція.

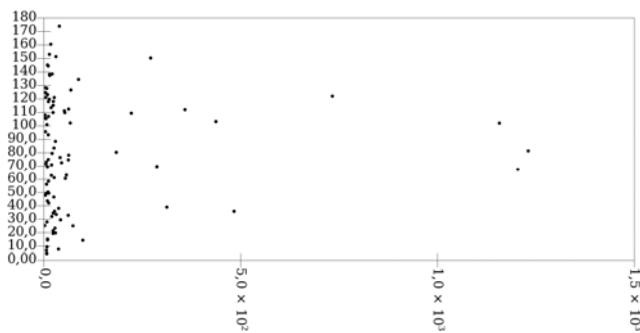
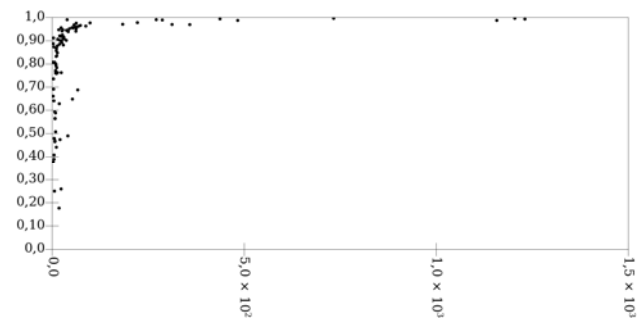
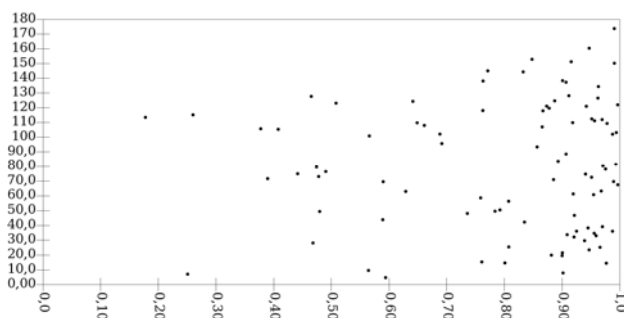
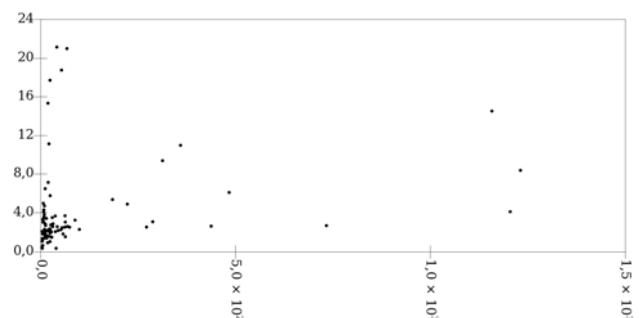
Вступ. Як відомо, періодичні комети в залежності від їх періоду обертання навколо Сонця відносяться до короткоперіодичних (менше 200 років) або довгоперіодичних (більше 200 років) [1]. Короткоперіодичні комети мають в основному малі нахили орбіт до екліптики (порядку 10°) і період обертання порядку 10 років. Досить нетиповою для короткоперіодичних комет виглядає орбіта комети Галлея, оскільки вона нахилена до площини екліптики на $162,5^\circ$ (тобто комета рухається по ретроградній орбіті). Інші комети, орбітальний період яких складає від 20 до 200 років, а нахили орбіти – від 0° до понад 90° , відносять до комет галлеївського типу (приблизно десята частка всіх короткоперіодичних комет).

Передбачається, що комети галлеївського типу першопочатково були довгоперіодичними кометами, орбіти яких змінилися під гравітаційним впливом планет-гігантів [1]. Якщо комета Галлея раніше була довгоперіодичною кометою, то вона, імовірно, походить з хмари Оорта – сфери з кометних ядер, що оточує Сонце на відстані 20000–50000 а. о. В той же час інші короткоперіодичні комети, як передбачається, приходять з поясу Койпера – плоского диску малих тіл на відстані 30-50 а.о. від Сонця.

Зв'язок короткоперіодичних комет з хмарою Оорта може бути представлений популяцією так званих Дамоклоїдів – астероїдів на сильно нахилених орбітах, деякі з яких рухаються по ретроградних орбітах. Дамоклоїди можна виділити з загальної маси малих тіл за двома критеріями – як астероїди, що мають параметр Тіссерана $T_{\text{Юпитера}} \leq 2$ [2]. На сьогодні відомо 93 об'єкти групи Дамоклоїдів [3].

Вважається, що Дамоклоїди є ядрами комет типу Галлея, які зародилися в хмарі Оорта і втратили свої леткі речовини [2]. Ця гіпотеза може бути вірною тому, що у достатньо багатьох об'єктів, які вважалися Дамоклоїдами, згодом виявляли кому і причисляли до класу комет. Окрім того, орбіти більшості Дамоклоїдів сильно нахилені до площини екліптики (від 6° до 175°), причому 52 з відомих на сьогодні 93-х Дамоклоїдів рухаються по ретроградних орбітах. Перше з таких тіл, виявлене в 1999 році, було назване Діоретса (20461) – "астероїд" навпаки.

На рисунках 1-4 представлено розподіл орбіт 93-х Дамоклоїдів за параметрами $i(a)$, $e(a)$, $i(e)$, $q(a)$.

Рис.1. Розподіл орбіт Дамоклоїдів за $i(a)$ Рис.2. Розподіл орбіт Дамоклоїдів за $e(a)$ Рис.3. Розподіл орбіт Дамоклоїдів за $i(e)$ Рис.4. Розподіл орбіт Дамоклоїдів за $q(a)$

Моделювання орбітальної еволюції Дамоклоїдів. Питання походження комет досі лишається відкритим і актуальним, і потребує додаткового вивчення. Зокрема, шляхом моделювання орбітальної еволюції комет і популяцій, що можуть бути їх першоджерелами.

В даній роботі було поставлено задачу промоделювати орбітальну еволюцію відомих на сьогодні Дамоклоїдів на великих проміжках часу (1 млрд років) в майбутнє і в минуле, з метою оцінити динамічний час життя цієї популяції, а

також динамічний зв'язок Дамоклоїдів з гіпотетичною хмарою Оорта і кометами типу Галлея. В такому контексті особливий інтерес представляє орбітальна еволюція Дамоклоїдів за i (нахилом орбіт) – як довго можуть зберігатися великі нахили їх орбіт, чи могли Дамоклоїди прийти з хмари Оорта в минулому і повернутися до неї в майбутньому?

Інтегрування проводилось на 1 млрд років вперед і назад у часі від теперішньої епохи, з використанням інтегратора SWIFTER [4]. Цей програмний пакет включає 7 методик інтегрування. В даній роботі було використано інтегратор SyMBA (Symplectic Massive Body Algorithm). Він дозволяє враховувати тісні зближення модельних тестових частинок з планетами. Даний алгоритм описаний в [5, 6].

Інтегрування проводилось для 93-х тестових частинок з орбітами, аналогічними орбітам відомих на сьогодні Дамоклоїдів, з урахуванням Сонця, 8 великих планет і Плутона, і з кроком інтегрування 7,305 дб. Інтегрування руху частинки припинялося на відстані 5000 а.о. від Сонця.

Аналіз моделювання орбітальної еволюції Дамоклоїдів показав, що динамічний час життя даної популяції становить порядку 10^6 - 10^7 років. Рисунки 5-8 демонструють швидкість, з якою частинки залишають або поповнюють популяцію Дамоклоїдів на інтервалах часу 1 млрд років і, більш детально, 10 млн років, при інтегруванні в майбутнє і в минуле.

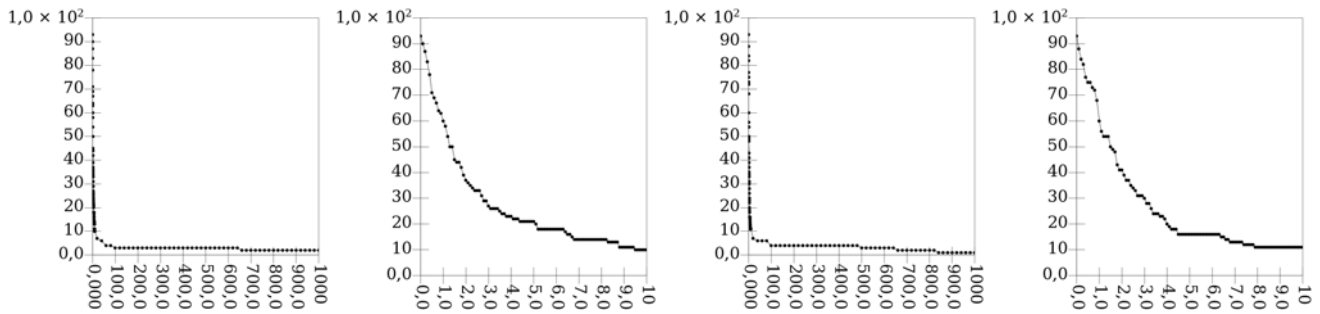


Рис. 5-8. Швидкість, з якою частинки залишають або поповнюють популяцію Дамоклоїдів на інтервалах часу 1 млрд років і 10 млн років, при інтегруванні в майбутнє (зліва) і в минуле (справа)

Рисунки 9-12 представляють залежність i (нахил орбіти) від a (великої півосі) 10 млн років тому назад і через 10 млн років. Наводяться мінімальні (рис. 9, 11) і максимальні (рис. 10, 12) значення i , котрих досягали орбіти частинок протягом інтегрування на 10 млн років в минуле (рис. 9, 10) і в майбутнє (рис. 11, 12).

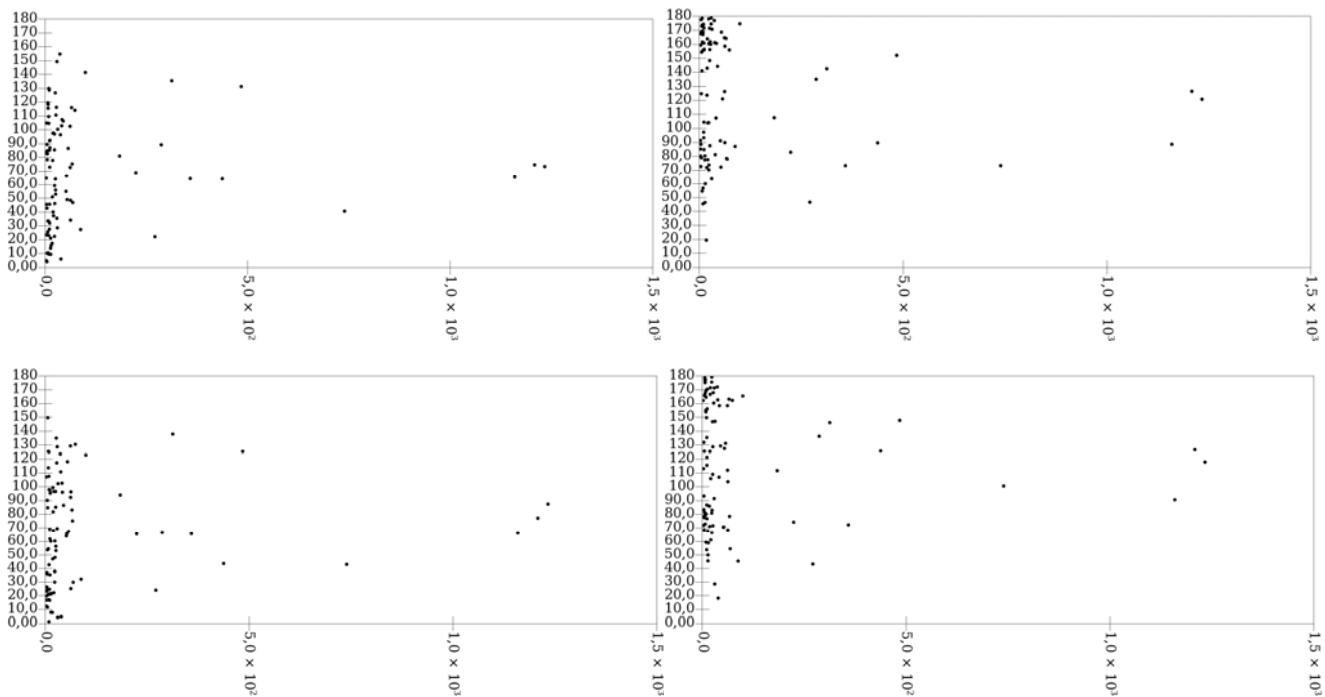


Рис. 9-12. Розподіли i (нахил орбіти) від a (велика піввісь) на 10 млн років в минуле і на 10 млн років в майбутнє. Наводяться мінімальні (рис. 9, 11) й максимальні (рис. 10, 12) значення, яких досягав нахил орбіт частинок i впродовж інтегрування в минуле (рис. 9-10) і в майбутнє (рис. 11-12)

Як видно з рисунків 9-12 та за результатами моделювання на 1 млрд років, великі нахили орбіт зберігалися впродовж всього часу інтегрування, як в минуле, так і в майбутнє, хоча й відрізнялися від сьогоднішнього значення в доволі широких межах.

На рисунку 13 наводиться характер змін нахилу орбіти для ретроградного Дамоклоїду Діоретса (20461).

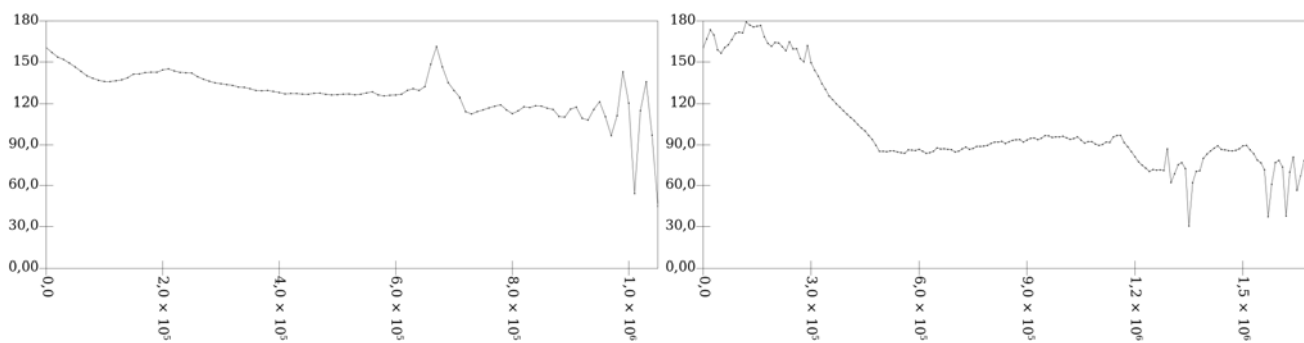


Рис. 13. Зміни нахилу орбіти для ретроградного Дамоклоїду Діоретса (20461), при інтегруванні в минуле (зліва) і в майбутнє (справа)

Результати інтегрування показали, що деякі еволюційні треки допускають перехід від прямого руху до ретроградного й навпаки, і рисунок 13 ілюструє один з таких випадків. Втім, на великих проміжках часу, внаслідок тісних зближень з планетами-гігантами, результати моделювання слід розглядати лише статистично.

Висновки. Наши результати показали, що динамічний час життя популяції Дамоклоїдів становить порядку 10^6 - 10^7 років. Популяція Дамоклоїдів зберігає великі нахили орбіт впродовж часу інтегрування до 1 млрд років в минуле і в майбутнє. Таким чином, популяція Дамоклоїдів дійсно може представляти динамічний зв'язок комет з нахиленими орбітами (комет типу Галлея) з гіпотетичною сферичною хмарою Оорта.

Деякі еволюційні треки допускають перехід від ретроградного руху до прямого і навпаки (наприклад, астероїд Діоретса (20461)). Однак, на великих проміжках часу, внаслідок тісних зближень з планетами-гігантами, результати моделювання слід розглядати лише статистично.

Список використаних джерел:

1. Morbidelli, A. (2008). Origin and dynamical evolution of comets and their reservoirs, arXiv:astro-ph/0512256.
2. Jewitt, D. (2005). A first look at the Damocloids, *The Astronomical Journal* 129 (1): 730–738. Bibcode:2005AJ....129..530J. doi:10.1086/426328. Retrieved 2011-02-13.
3. http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi#x.
4. <http://www.boulder.swri.edu/swifter/>.
5. Duncan, Levison, and Lee (1998). A Multiple Time Step Symplectic Algorithm for Integrating Close Encounters, *The Astronomical Journal*, Volume 116, Issue 4, pp. 2067-2077.
6. Levison and Duncan (2000). Symplectically Integrating Close Encounters with the Sun, *The Astronomical Journal*, Volume 120, Issue 4, pp. 2117-2123.

Надійшла до редколегії 20.11.13

Н. Коваленко, канд. физ.-мат. наук, Р. Гулиев, науч. сотр. (Шемахинская астрофизическая обсерватория, Азербайджан),
К. Чурюмов, д-р физ.-мат. наук, проф.
КНУ имени Тараса Шевченко, Киев

ПРО НАКЛОНЫ ОРБИТ ДАМОКЛОИДОВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

На сегодня известно 93 Дамоклоида, некоторые из этих астероидов движутся по ретроградным орбитам. Предполагается, что Дамоклоиды являются неактивными ядрами комет галлеевского типа. Было проведено моделирование орбитальной эволюции Дамоклоидов на 1 млрд лет в прошлое и будущее, с использованием пакета интегрирования SWIFTER. Результаты обсуждаются.

Ключевые слова: Дамоклоиды, орбитальная эволюция.

N. Kovalenko, Ph.D. in Phys. and Math. Sciences, R. Guliev, K. Churyumov, Dr. Phys. and Math. Sciences, Prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ABOUT DAMOKLOIDIV INCLINATIONS OF THE ORBITS DURING THE DYNAMICAL EVOLUTION

There are 93 Damocloides currently known, some of these asteroids moves along retrograde orbits. Damocloides are believed to be inactive nuclei of Halley type comets. The orbital evolution modeling for Damocloides were performed 1Gyr backward and forward in time, using SWIFTER package. Results are discussed.

Key words: Damocloides, orbital evolution.

УДК 52 (031)

Л. Ксанфомаліті, д-р фіз.-мат. наук, проф., К. Чурюмов, д-р фіз.-мат. наук, проф.
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ АСТЕРОЇДІВ ІТОКАВА, ТОУТАТИС ТА ЯДРА КОМЕТИ БОРЕЛЛІ

Розглянуто ротаційну нестійкість астероїдів Ітокава, Тоутатис і ядра комети Бореллі і показано, що їх фігури є стійкими, відносно руйнування цих малих тіл відцентровими силами.

Ключові слова: Ітокава, Тоутатис, Бореллі.

В роботі [1] (Ксанфомаліті, Чурюмов, 2012) було розглянуто ротаційну нестійкість ядра комети Хартлі 2 і було показано, що протягом короткого часу (1-2 наступні оберти навколо Сонця) ядро комети розділиться на 2 фрагменти, внаслідок того, що відцентрові сили, які діють на шийку кеглеподібної форми ядра, перебільшують силу гравітації.

Знайомство з космічними фотографіями комет і астероїдів дозволило знайти ще три об'єкти, які мають кеглеподібну форму із шийкою, хоча не стільки характерною, як у комети Хартлі 2. Це комета 19P/Бореллі, астероїди Тоута-тис і Ітокава.