



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 11 • № 2 • 2015 С. 145 – 156

УДК 523.4

## Условие распада двойных и кратных астероидов под действием приливных сил больших планет Солнечной системы

В.В. Троянский<sup>1\*</sup>, К.А. Радченко<sup>2</sup>, А.А. Базей<sup>1</sup><sup>1</sup>НИИ «Астрономическая обсерватория» Одесского государственного университета им. И.И. Мечникова<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

*В данной работе определено условие распада систем из двух и более астероидов, которые гравитационно связаны между собой и движутся вокруг собственного центра масс, под воздействием приливных сил одной из больших планет Солнечной системы. Создана статистическая база критических сближений двойных и кратных астероидов с большими планетами.*

*УМОВА РОЗПАДУ ПОДВІЙНИХ І КРАТНИХ АСТЕРОЇДІВ ПІД ДІЄЮ ПРИПЛИВНИХ СИЛ ВЕЛИКИХ ПЛАНЕТ СОЛЯЧНОЇ СИСТЕМИ. Троянський В.В., Радченко К.О., Базей О.А. — В даній роботі ми розглядаємо умови розпаду систем з двох і більше астероїдів, гравітаційно зв'язаних між собою, що обертаються навколо спільного центру мас, внаслідок дії приливних сил однієї з великих планет Сонячної системи. Створена статистична база критичних зближень подвійних та кратних астероїдів з великими планетами.*

*DISINTEGRATION'S CONDITION OF BINARY AND MULTIPLE ASTEROIDS UNDER THE ACTION OF TIDAL FORCES FROM MAJOR SOLAR SYSTEM PLANETS, by Troianskyi V.V., Radchenko K.O., Bazyey O.A. — In this work we are considering the conditions of disintegration systems of two or more asteroids gravitationally conjuncted and moving around a common center of mass, under action of tidal forces of one of the major Solar system planets. Create a statistical database of critical approaches of binary and multiple asteroids with major planets.*

**Ключевые слова:** астероиды; двойные и кратные астероиды; разрыв астероидной системы.

**Key words:** asteroids; binary and multiple asteroids; disintegration asteroid system.

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Начиная с 1993 года, после обнаружения спутника у астероида 243 Ida и по настоящее время открыты уже более 270 двойных и кратных астероидов. Так, сейчас известно 55 астероидных систем, сближающихся с Землей, 20 астероидных систем, пересекающих орбиту Марса, 96 астероидных систем Главного пояса и 77 транснептуновых астероидных систем, включая и систему Плутона. Также обнаружен 1 двойной троянский астероид Марса (из 5 известных), 4 двойных троянских астероидов Юпитера (из 6178 известных). У крупнейшего кентавра (10199) Chariklo обнаружена система из двух колец, которая может указывать на наличие спутника-пастуха [7]. В данный момент времени активно проводятся наблюдения [18] и дальнейшее изучение эволюции астероидных систем как целиком в Солнечной системе, так и рассматривается более подробно динамика отдельных спутников астероидов [13, 17].

Так, в последние годы были открыты ретроградные орбиты спутников околоземных астероидов (66391) 1999KW4 (группа Атона, наклон орбиты спутника  $i = 156,1 \pm 2^\circ$ ) [14] и (153591) 2001SN263 (группа Амура,  $i = 165,045 \pm 12,409^\circ$ ) [9] и околополярных орбит спутников астероидов главного пояса (22) Kalliope со спутником Linus ( $i = 93,4 \pm 1,0^\circ$ ) [13] и (93) Minerva со спутниками Aegis ( $i = 89,0 \pm 10,9^\circ$ ) и Gorgoneion ( $i = 91,4 \pm 24,1^\circ$ ) [12].

Концепция происхождения двойных и кратных астероидных систем все еще остается неясной. Предполагается несколько возможных способов формирования систем астероидов. Одни астероидные системы могли образоваться при разрушении родительского астероида в результате столкновения с другим астероидом. Другие бинарные системы, особенно транснептуновые, могли образоваться ещё в начале формирования Солнечной системы в результате взаимного захвата при малых орбитальных скоростях.

Такие системы могут образоваться также в результате тесного сближения с какой-нибудь крупной планетой, например, Землёй. При этом из-за действия внутренних напряжений, возникающих под действием приливных сил, астероиды могут распадаться на несколько фрагментов, составляющих кратную систему или просто двигаться вместе по близким орбитам.

Было высказано предположение, что в результате YORP-эффекта при увеличении скорости вращения астероидов неправильной формы под действием фотонов из-за неравномерного альbedo поверхности,

\*Троянский Владимир Владимирович; ✉ v.troianskyi@onu.edu.ua

скорость вращения астероида может возрасти настолько, что приливные силы разорвут его на две части [19].

## 2. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Устойчивость двойного астероида определяется не только гравитационными возмущениями со стороны Солнца и планет, но и приливным взаимодействием самих компонентов двойной системы. Особенно сильно это взаимодействие сказывается на телах с невысокой степенью жесткости типа «gubble pile» [21].

Влияние эксцентриситета на устойчивость двойной системы также важно, поскольку при его больших значениях область устойчивости уменьшается. Согласно теории приливной эволюции, современное значение эксцентриситета небольших спутников астероидов не должно превышать нескольких сотых [20]. Определенные значения эксцентриситетов некоторых двойных астероидов в основном подтверждают это предположение — орбиты компонентов почти круговые.

Астероиды, сближающиеся с планетами, подвергаются также их приливному воздействию. Например, астероиды, проходящие на расстоянии от 18 тыс. км до 36 тыс. км от Земли, находятся в тесном сближении с ней, и последствия такой близкой встречи могут играть важную роль в эволюции астероида [6]. Существует предположение, что некоторые одиночные астероиды типа «gubble pile» подвергаются приливному разлому и разделению на множество фрагментов с близкими орбитами. Некоторые из них образуют тесные двойные пары.

В ходе встречи с планетой энергия поступательного движения компонентов двойной астероидной системы вокруг общего центра инерции может сильно измениться. Как следствие, начальная популяция двойных астероидов может претерпеть значительные изменения и образовать как системы с большим расстоянием между компонентами, так и контактные двойные астероиды. Моделирование методом Монте-Карло сближений между контактным двойной астероидной системы с компонентами типа «gubble pile» и планетой земной группы показало, что около 15% двойных астероидов, сближающихся с Землей, и около 5% двойных астероидов, сближающихся с Марсом, образуют в процессе эволюции пары с большими расстояниями между компонентами [8].

При увеличении расстояния между компонентами изменяется орбитальный угловой момент двойной астероидной системы, что может привести к замедлению вращения его компонентов [10].

Двойные астероиды, особенно те, компоненты которых представляют собой «gubble pile», эволюционируют к устойчивому состоянию. В этом состоянии вращение компонентов синхронизировано с их орбитальным движением вокруг общего центра инерции, большие полуоси компонентов ориентированы друг на друга, эксцентриситет орбиты спутника близок к нулю. Большая полуось орбиты спутника небольших размеров не превышает нескольких десятков диаметров главного компонента, а компоненты с размерами одного порядка образуют тесную двойную систему. Движение спутника скорее всего ретроградное, а наклон орбиты спутника относительно эклиптики находится в пределах  $150^\circ - 180^\circ$  [15].

Предложенная Ж.П. Аносовой схема (рис. 1) отражает основные особенности динамики тройных систем и может служить ориентиром в общей задаче трех тел, в частности, в задаче двойной астероидной системы [2].

А.И. Мартынова, В.В. Орлов и др. [4] предложили критерий тройного сближения определять на основе теоремы о вириале

$$|U| > 2|E|, \tag{1}$$

где  $U$  — потенциальная энергия тройной системы,  $E$  — ее полная кинетическая энергия. Они вводят понятие сферы тройного сближения. Радиус этой сферы  $R_0$  в работе Агекияна и Мартыновой [1] определяется как

$$R_0 = \frac{G}{2|E|} A, \tag{2}$$

где  $G = (6,67408 \pm 0,00031) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$  [22] — гравитационная постоянная;  $A$  — коэффициент, зависящий от масс компонентов тройной системы. В работе Мартыновой и Орлова было установлено, что формула (2) справедлива и в пространственном случае задачи трех тел.

## 3. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим задачу исследования двойных и кратных астероидов, один из компонентов которого — главный вследствие больших размеров и массы, а другие можно считать его спутниками. Для того, чтобы астероид удержал возле себя спутник, нужно, чтобы ускорение от главного астероида превышало суммарные ускорения на спутник и астероид от близлежащей планеты.

Выделим случай, когда планета, главный астероид и его спутник находятся на одной прямой. В таком случае разность ускорений компонентов астероидной системы, относительно большой планеты, будет максимальной. Соответственно, коэффициент отрыва меньшего компонента астероидной системы также будет максимальным.

Разность ускорений в системе координат одного неподвижного центра, когда спутник находится между планетой и астероидом можно записать в виде

$$\Delta a = \frac{GM_{\text{п}}}{(r-d)^2} - \frac{GM_{\text{п}}}{r^2} = \frac{GM_{\text{п}}}{r^2} \left( \left(1 - \frac{d}{r}\right)^{-2} - 1 \right), \quad (3)$$

где  $M_{\text{п}}$  — масса планеты;  $r$  — планетоцентрическое расстояние астероидной системы;  $d$  — расстояние между астероидом и его спутником.

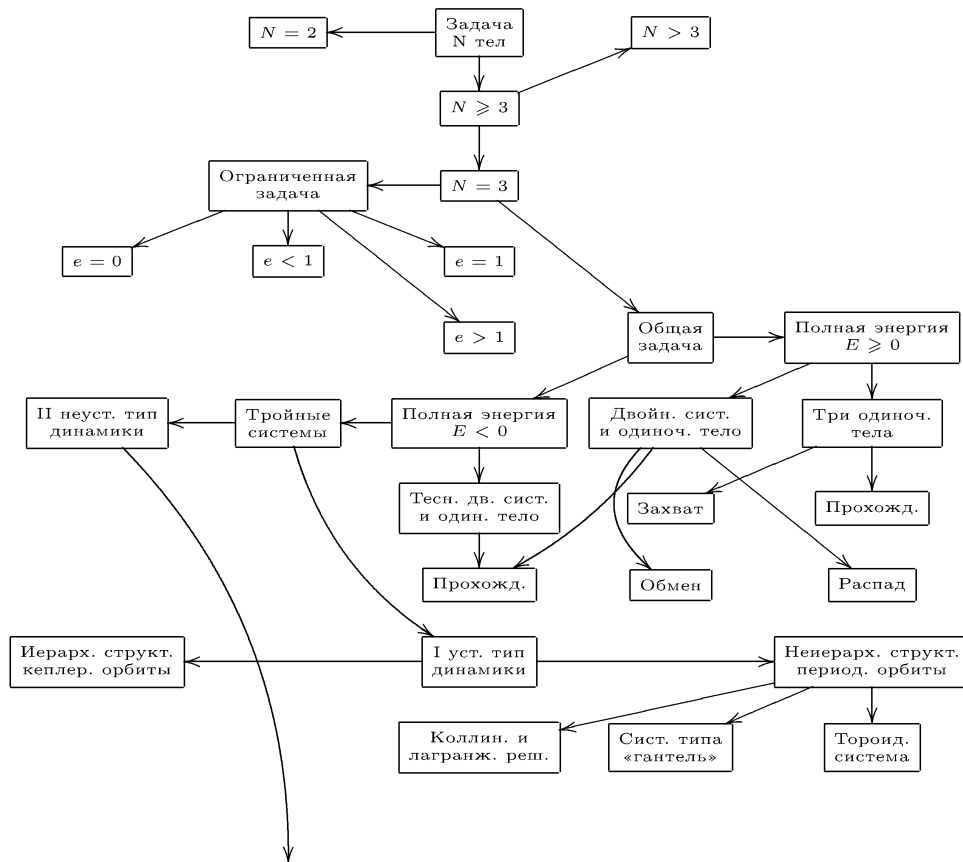
Упрощая выражение в больших скобках и пренебрегая членами  $\left(\frac{d}{r}\right)^2$  сравнительно с  $\frac{2d}{r}$ , и  $\frac{d}{r}$  сравнительно с 1, так как  $d \ll r$ , получим:

$$\Delta a \approx \frac{2GM_{\text{п}}}{r^3} d. \quad (4)$$

Искомое расстояние  $r$  находим из условия

$$\frac{GM_{\text{А}}}{d^2} = \frac{2GM_{\text{п}}}{r^3} d, \quad (5)$$

где  $M_{\text{А}}$  — масса главного астероида.



Классификация состояний тройных систем II неустойчивого типа динамики



Рис. 1. Блок-схема классификации типов движений и состояний тройных систем [4].

Окончательно получаем:

$$r = \left( \frac{2M_{\pi}}{M_A} \right)^{1/3} d. \quad (6)$$

Как видим, в первом приближении коэффициент отрыва компонента системы зависит лишь от взаимного расстояния  $d$  между компонентами.

Формула (6) — более строгий критерий распада по сравнению с условиями, описанными в работе [5].

#### 4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Вычислим критические расстояния сближения для известных двойных и кратных астероидов [23] с большими планетами, при котором возможна дальнейшая диссипация астероидной системы, используя условия, описанные формулами (3)–(6).

Запишем условие для двойных транснептуновых объектов, накладывающее ограничение на перигелий главного астероида ( $q_A$ ), через афелийное расстояние самой удаленной большой планеты ( $Q_{\text{Нептун}}$ ) и критическое расстояние до астероидной системы ( $r_{\text{Нептун}}$ ):

$$Q_{\text{Нептун}} + r_{\text{Нептун}} < q_A, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{Нептун}} = 30,432497227159$  а.е. на J2000.0 [24].

Астероидных систем, удовлетворяющих неравенству (7), определено 69, остальные системы изучались более подробно. Ниже (табл. 3) приведены результаты расчетов критических расстояний, на которые должны сблизиться астероидные системы с одной из больших планет Солнечной системы, чтобы мог произойти отрыв спутника от главного астероида.

Проведенные нами численные расчёты показывают, что часть двойных и кратных астероидов при современных значениях элементов их орбит никогда не сближаются с большими планетами.

Реализована динамическая модель для изучения движения астероидов в Солнечной системе. При численном интегрировании начальные вектора состояния больших планет заимствованы из численной теории DE431 [11], созданной в Лаборатории Реактивного Движения (США). Движение астероидных систем интегрировалось методом Эверхарта 15 порядка [3].

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_i &= -k^2 \sum_{j=1}^n m_i m_j \frac{x_i - x_j}{r_{ij}^3}, \\ m_i \ddot{y}_i &= -k^2 \sum_{j=1}^n m_i m_j \frac{y_i - y_j}{r_{ij}^3}, \\ m_i \ddot{z}_i &= -k^2 \sum_{j=1}^n m_i m_j \frac{z_i - z_j}{r_{ij}^3}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $m_i, m_j$  — массы тел;  $x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j$  — декартовы координаты тел;  $k^2$  — постоянная тяготения, зависящая от единиц измерения;  $r_{ij}$  — расстояние между телами с массами  $m_i$  и  $m_j$ .

Ниже на графиках (рис. 2–5) приведены изменения эксцентриситета и наклона орбиты астероидных систем (табл. 2) на промежутке времени 17 000 лет в гелиоцентрической системе координат.

Для астероидной системы (66391) 1999 KW4 изменение эксцентриситета ( $e$ ) и наклона ( $i$ ) аппроксимируется полиномами 3-й степени:

$$e = 10^{-14} t^3 - 10^{-10} t^2 - 2 \cdot 10^{-5} t + 0,6887, \quad (9)$$

$$i = 10^{-12} t^3 - 6 \cdot 10^{-8} t^2 - 0,0016 t + 38,949, \quad (10)$$

где  $t$  — время; величина достоверности аппроксимации для эксцентриситета и наклона  $R^2 = 1$ .

Для астероидной системы (41) Daphne изменение эксцентриситета и наклона аппроксимируется полиномом 6-й степени:

$$e = 2 \cdot 10^{-24} t^6 - 10^{-19} t^5 + 2 \cdot 10^{-15} t^4 - 10^{-11} t^3 + 4 \cdot 10^{-8} t^2 + 2 \cdot 10^{-6} t + 0,1619, \quad (11)$$

$$i = 3 \cdot 10^{-23} t^6 - 2 \cdot 10^{-18} t^5 + 4 \cdot 10^{-14} t^4 - 4 \cdot 10^{-10} t^3 + 2 \cdot 10^{-6} t^2 + 0,0038 t + 0,2533, \quad (12)$$

с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,97$  и  $R^2 = 0,99$  соответственно.

В рамках исследования всего массива известных двойных и кратных астероидов были проанализированы статистические зависимости орбитальных элементов астероидных систем (рис. 6) и соотношение диаметров главных компонентов астероидных систем к их спутникам (рис. 7).

Соотношение диаметров ( $d$ ) главных компонентов и спутников в двойных и кратных астероидных системах, без учета системы карликовой планеты Плутона, аппроксимируется полиномом 5-й степени:

$$N = -6474,4d^5 + 18432d^4 - 18963d^3 + 8322,2d^2 - 1152,2d + 74,333 \quad (13)$$

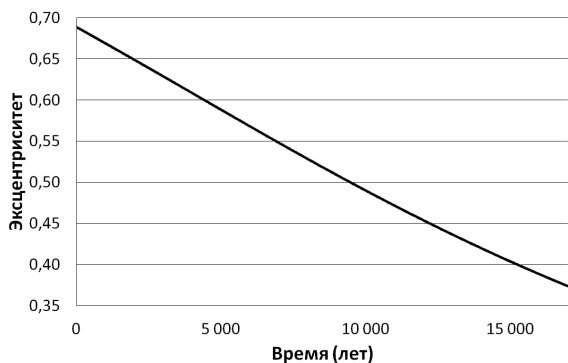
с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,99$ .

**Таблица 1.** Масса больших планет Солнечной системы [25]

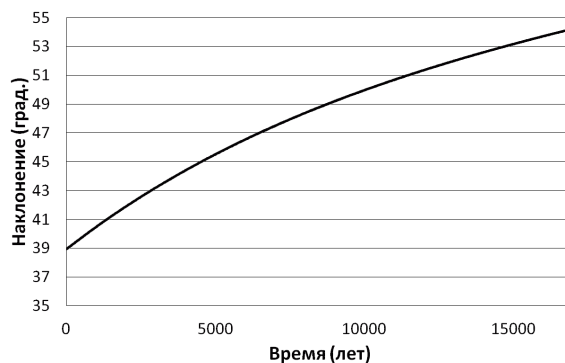
Планета	Масса ( $\times 10^{24}$ кг)
Меркурий	$0,330104 \pm 0,000036$
Венера	$4,86732 \pm 0,00049$
Земля	$5,97219 \pm 0,00060$
Марс	$0,641693 \pm 0,000064$
Юпитер	$1898,13 \pm 0,19$
Сатурн	$568,319 \pm 0,057$
Уран	$86,8103 \pm 0,0087$
Нептун	$102,410 \pm 0,010$

**Таблица 2.** Кеплеровы элементы орбит астероидов [23]

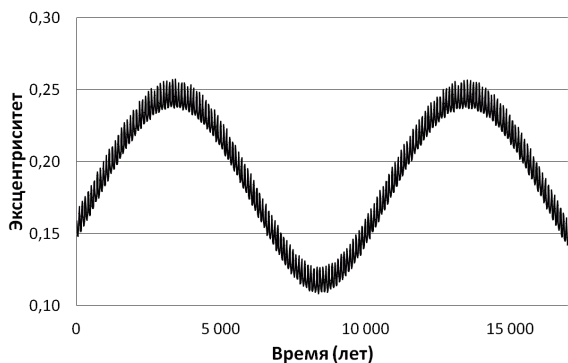
Элементы орбиты	(41) Daphne	(66391) 1999 KW4
$a$ , а.е.	3,154487052	0,642291859
$e$	0,163458400	0,688460238
$i$ , град.	2,2071403	38,8871737
$\omega$ , град.	244,40561	192,6154467
$\Omega$ , град.	70,04471	244,9231238
Epoch, JD	2454535,5	2456800,5



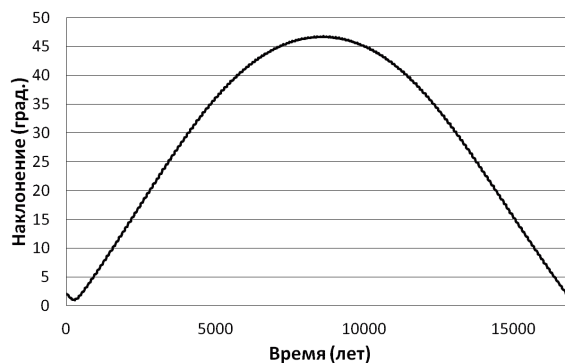
**Рис. 2.** Изменение эксцентриситета астероидной системы (66391) 1999 KW4



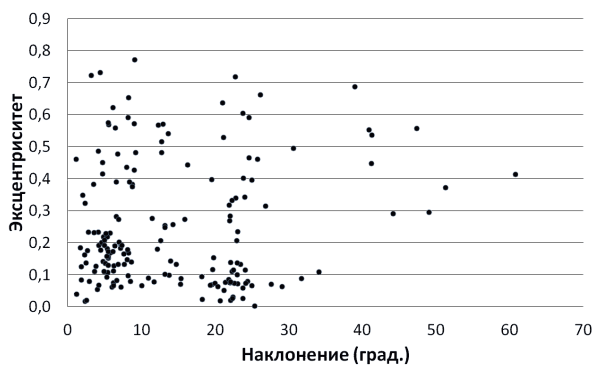
**Рис. 3.** Изменение наклона астероидной системы (66391) 1999 KW4



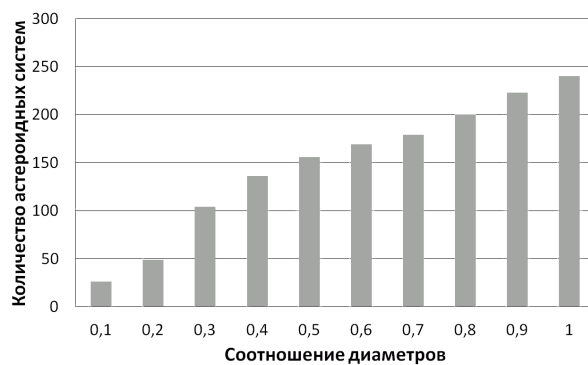
**Рис. 4.** Изменение эксцентриситета астероидной системы (41) Daphne



**Рис. 5.** Изменение наклона астероидной системы (41) Daphne



**Рис. 6.** График соотношения эксцентриситета от наклона для двойных и кратных астероидов



**Рис. 7.** График зависимости количества астероидных систем ( $N$ ) к соотношению диаметров компонентов в этих системах

**Таблица 3.** Критическое планетоцентрическое расстояние двойных и кратных астероидных систем

Астероидная система	$M_d$ , кг	$d$ , км	$R_{\text{Меркурий}}$ , км	$R_{\text{Венера}}$ , км	$R_{\text{Земля}}$ , км	$R_{\text{Марс}}$ , км	$R_{\text{Юпитер}}$ , км	$R_{\text{Сатурн}}$ , км	$R_{\text{Уран}}$ , км	$R_{\text{Нептун}}$ , км
(22) Kalliope	$8,1 \cdot 10^{18} \pm 2 \cdot 10^{17}$	$1095 \pm 11$	$47477 \pm 90$	$116420 \pm 221$	$124635 \pm 237$	$59252 \pm 113$	$850559 \pm 1616$	$569019 \pm 1081$	$304172 \pm 578$	$321398 \pm 610$
(41) Daphne	$6,31 \cdot 10^{18} \pm 1,1 \cdot 10^{17}$	443	$20875 \pm 122$	$51188 \pm 299$	$54800 \pm 320$	$26052 \pm 152$	$373978 \pm 2186$	$250189 \pm 1463$	$133740 \pm 782$	$141314 \pm 826$
(45) Eugenia, (beta)	$5,63 \cdot 10^{18} \pm 3 \cdot 10^{14}$	$1164,42 \pm 0,03$	$56995 \pm 3$	$139759 \pm 6$	$149622 \pm 6$	$71131 \pm 3$	$1021078 \pm 42$	$683095 \pm 28$	$365152 \pm 15$	$385831 \pm 16$
(45) Eugenia, (gamma)	$5,63 \cdot 10^{18} \pm 3 \cdot 10^{14}$	$610,59 \pm 0,06$	$29886 \pm 3$	$73286 \pm 8$	$78458 \pm 9$	$37299 \pm 4$	$535425 \pm 61$	$358196 \pm 41$	$191476 \pm 22$	$202319 \pm 23$
(87) Sylvia, (beta)	$1,48 \cdot 10^{19} \pm 6 \cdot 10^{16}$	$1351,35 \pm 0,01$	$47926 \pm 63$	$61019 \pm 79$	$65325 \pm 84$	$31056 \pm 40$	$858616 \pm 1128$	$574409 \pm 755$	$307054 \pm 404$	$324443 \pm 426$
(87) Sylvia, (gamma)	$1,48 \cdot 10^{19} \pm 6 \cdot 10^{16}$	$701,64 \pm 0,02$	$24884 \pm 32$	$61019 \pm 79$	$65325 \pm 84$	$31056 \pm 40$	$445806 \pm 576$	$298241 \pm 386$	$159427 \pm 206$	$168455 \pm 218$
(90) Antiope	$8,28 \cdot 10^{17} \pm 2,2 \cdot 10^{16}$	$171 \pm 1$	$15857 \pm 49$	$38883 \pm 120$	$41627 \pm 128$	$19790 \pm 61$	$284078 \pm 876$	$190047 \pm 586$	$101590 \pm 313$	$107344 \pm 331$
(93) Minerva, (beta)	$3,35 \cdot 10^{18} \pm 5,4 \cdot 10^{17}$	$623,5 \pm 10$	$36284 \pm 1571$	$89874 \pm 3853$	$95252 \pm 4125$	$45284 \pm 1961$	$650040 \pm 28148$	$434873 \pm 18831$	$232464 \pm 10066$	$245629 \pm 10636$
(93) Minerva, (gamma)	$3,35 \cdot 10^{18} \pm 5,4 \cdot 10^{17}$	$375 \pm 16$	$21823 \pm 329$	$53513 \pm 806$	$57289 \pm 863$	$27236 \pm 410$	$390962 \pm 5891$	$261551 \pm 3941$	$139814 \pm 2107$	$147732 \pm 2226$
(107) Camilla	$1,12 \cdot 10^{19} \pm 3 \cdot 10^{17}$	$1250 \pm 10$	$48648 \pm 48$	$119293 \pm 118$	$127710 \pm 126$	$60714 \pm 60$	$871544 \pm 859$	$583058 \pm 574$	$311677 \pm 307$	$329328 \pm 325$
(121) Hermione	$4,7 \cdot 10^{18} \pm 2 \cdot 10^{17}$	$747 \pm 11$	$38831 \pm 30$	$95220 \pm 72$	$101940 \pm 78$	$48463 \pm 37$	$695675 \pm 529$	$465402 \pm 354$	$248784 \pm 189$	$262873 \pm 200$
(130) Elektra, (beta)	$6,6 \cdot 10^{18} \pm 4 \cdot 10^{17}$	$1318 \pm 25$	$61183 \pm 101$	$150029 \pm 249$	$160616 \pm 266$	$76358 \pm 127$	$1096106 \pm 1817$	$733288 \pm 1216$	$391984 \pm 650$	$414182 \pm 687$
(130) Elektra, (gamma)	$6,6 \cdot 10^{18} \pm 4 \cdot 10^{17}$	460	$21354 \pm 449$	$52362 \pm 1101$	$56057 \pm 1179$	$26650 \pm 560$	$382556 \pm 8043$	$255928 \pm 5381$	$136808 \pm 2876$	$144555 \pm 3039$
(216) Kleopatra, (beta)	$4,64 \cdot 10^{18} \pm 2 \cdot 10^{16}$	$678 \pm 13$	$35396 \pm 630$	$86795 \pm 1544$	$92921 \pm 1653$	$44175 \pm 786$	$634126 \pm 11283$	$424226 \pm 7549$	$226773 \pm 4035$	$239615 \pm 4263$
(216) Kleopatra, (gamma)	$4,64 \cdot 10^{18} \pm 2 \cdot 10^{16}$	$454 \pm 6$	$23702 \pm 280$	$58120 \pm 687$	$62221 \pm 736$	$29580 \pm 350$	$424621 \pm 5022$	$284069 \pm 3360$	$151851 \pm 1796$	$160450 \pm 1898$
(243) Ida	$4,2 \cdot 10^{16} \pm 6 \cdot 10^{15}$	108	$27054 \pm 1425$	$66341 \pm 3496$	$71022 \pm 3742$	$33764 \pm 1779$	$484685 \pm 25539$	$324251 \pm 17085$	$173330 \pm 9133$	$183146 \pm 9650$
(283) Emma	$1,38 \cdot 10^{18} \pm 3 \cdot 10^{16}$	$581 \pm 3,6$	$45441 \pm 49$	$111427 \pm 120$	$119290 \pm 129$	$56711 \pm 61$	$814083 \pm 878$	$544616 \pm 587$	$291128 \pm 314$	$307615 \pm 332$
(317) Roxane	$7,2809 \cdot 10^{16}$	257	$53592 \pm 2$	$131415 \pm 4$	$140689 \pm 5$	$66884 \pm 2$	$960115 \pm 32$	$642311 \pm 21$	$343351 \pm 11$	$362796 \pm 12$
(379) Huenna	$3,83 \cdot 10^{17} \pm 1,9 \cdot 10^{16}$	$3336 \pm 54,9$	$399994 \pm 132$	$980844 \pm 327$	$1050060 \pm 350$	$499205 \pm 166$	$7166027 \pm 2389$	$4794027 \pm 1598$	$2562675 \pm 854$	$2707804 \pm 905$
(617) Patroclus	$1,36 \cdot 10^{18} \pm 1,1 \cdot 10^{17}$	$680 \pm 20$	$53443 \pm 166$	$131050 \pm 406$	$140298 \pm 435$	$66698 \pm 207$	$957447 \pm 2968$	$640526 \pm 1986$	$342397 \pm 1061$	$361787 \pm 1121$
(624) Hektor	$7,91 \cdot 10^{18} \pm 1,41 \cdot 10^{18}$	$957,5 \pm 55,3$	$41845 \pm 248$	$102609 \pm 609$	$109850 \pm 652$	$52223 \pm 310$	$749662 \pm 4450$	$501519 \pm 2977$	$268090 \pm 1591$	$283272 \pm 1682$
(702) Alauda	$6,06 \cdot 10^{18} \pm 3,6 \cdot 10^{17}$	$1227 \pm 24$	$41845 \pm 248$	$102609 \pm 609$	$109850 \pm 652$	$52223 \pm 310$	$749662 \pm 4450$	$501519 \pm 2977$	$268090 \pm 1592$	$283272 \pm 1682$
(762) Pulcova	$1,4 \cdot 10^{18} \pm 1 \cdot 10^{17}$	$703 \pm 14$	$54719 \pm 250$	$134179 \pm 612$	$143648 \pm 656$	$68291 \pm 312$	$980313 \pm 4474$	$655823 \pm 2993$	$350574 \pm 1600$	$3704281 \pm 691$
(809) Lundia	$4,86 \cdot 10^{14} \pm 3,12 \cdot 10^{14}$	15,8	$17499 \pm 7144$	$42909 \pm 17518$	$45937 \pm 18754$	$21839 \pm 8916$	$313495 \pm 127986$	$209726 \pm 85622$	$112110 \pm 45770$	$118459 \pm 48362$
(854) Frostia	$1,65 \cdot 10^{14} \pm 9,02 \cdot 10^{12}$	17	$26989 \pm 510$	$66180 \pm 1250$	$70850 \pm 1338$	$33683 \pm 636$	$483511 \pm 9130$	$323466 \pm 6108$	$172910 \pm 3265$	$182703 \pm 3450$
(939) Isberga	$3,61 \cdot 10^{15} \pm 1,74 \cdot 10^{15}$	$33 \pm 4,5$	$18731 \pm 1411$	$45932 \pm 3460$	$49174 \pm 3704$	$23377 \pm 1761$	$335581 \pm 25276$	$224501 \pm 16910$	$120008 \pm 9039$	$126805 \pm 9551$
(1052) Belgica	$7,86 \cdot 10^{14} \pm 1,93 \cdot 10^{13}$	34	$32077 \pm 265$	$78658 \pm 651$	$84208 \pm 697$	$40033 \pm 331$	$574672 \pm 4754$	$384452 \pm 3180$	$205511 \pm 1700$	$217149 \pm 1797$
(1089) Tama	$8,9 \cdot 10^{14} \pm 3,2 \cdot 10^{14}$	$20,7 \pm 1,3$	$18738 \pm 1635$	$45949 \pm 4008$	$49192 \pm 4291$	$23386 \pm 2040$	$335706 \pm 29284$	$224585 \pm 19591$	$120053 \pm 10472$	$126852 \pm 11066$
(1139) Atami	$3,991 \cdot 10^{14}$	15	$17740 \pm 1$	$43501 \pm 1$	$46571 \pm 2$	$22140 \pm 1$	$317821 \pm 11$	$212620 \pm 7$	$113657 \pm 4$	$120094 \pm 4$
(1313) Berna	$1,14 \cdot 10^{15} \pm 5,17 \cdot 10^{13}$	25	$20838 \pm 324$	$51099 \pm 795$	$54705 \pm 851$	$26007 \pm 405$	$373328 \pm 5808$	$249754 \pm 3885$	$133507 \pm 2077$	$141068 \pm 2195$
(1338) Duponta	$3,80 \cdot 10^{14} \pm 8,89 \cdot 10^{12}$	14	$16837 \pm 133$	$41286 \pm 326$	$44200 \pm 349$	$21013 \pm 166$	$301638 \pm 2384$	$201794 \pm 1595$	$107870 \pm 852$	$113979 \pm 901$
(1453) Fennia	$2,85 \cdot 10^{14} \pm 4,75 \cdot 10^{13}$	15	$19845 \pm 1243$	$48662 \pm 3048$	$52096 \pm 3263$	$24767 \pm 1551$	$355525 \pm 22271$	$237844 \pm 14899$	$127141 \pm 7964$	$134341 \pm 8415$
(1509) Esclangona	$3,98 \cdot 10^{14} \pm 8,64 \cdot 10^{13}$	140	$165753 \pm 14094$	$406452 \pm 34562$	$435135 \pm 37001$	$206866 \pm 17590$	$2969530 \pm 252507$	$1986597 \pm 168925$	$1061947 \pm 90300$	$1122087 \pm 95415$
(1717) Arlon	$6,38 \cdot 10^{14} \pm 3,56 \cdot 10^{13}$	17	$17193 \pm 332$	$42159 \pm 813$	$45135 \pm 871$	$21457 \pm 414$	$308016 \pm 5942$	$206061 \pm 3975$	$110151 \pm 2125$	$116389 \pm 2246$
(1727) Mette	$8,84 \cdot 10^{14}$	21	$19054 \pm 1$	$46724 \pm 2$	$50021 \pm 2$	$23780 \pm 1$	$341364 \pm 11$	$228370 \pm 8$	$122077 \pm 4$	$128990 \pm 4$
(1830) Pogson	$4,12 \cdot 10^{14} \pm 1,72 \cdot 10^{13}$	18	$21068 \pm 301$	$51663 \pm 739$	$55309 \pm 791$	$26294 \pm 376$	$377448 \pm 5398$	$252510 \pm 3611$	$134981 \pm 1930$	$142625 \pm 2040$
(1862) Apollo	$3,35 \cdot 10^{12} \pm 5,5 \cdot 10^{11}$	$3,75 \pm 0,25$	$21823 \pm 306$	$53513 \pm 749$	$57289 \pm 802$	$27236 \pm 381$	$390962 \pm 5472$	$261551 \pm 3661$	$139814 \pm 1957$	$147732 \pm 2068$
(2006) Polonskaya	$7,71 \cdot 10^{13} \pm 8,18 \cdot 10^{12}$	8,5	$17387 \pm 662$	$42635 \pm 1622$	$45643 \pm 1737$	$21699 \pm 826$	$311489 \pm 11852$	$208384 \pm 7929$	$111393 \pm 4239$	$117701 \pm 4479$
(2044) Wirt	$2,31 \cdot 10^{14} \pm 6,10 \cdot 10^{13}$	12	$17022 \pm 1828$	$41740 \pm 4482$	$44686 \pm 4799$	$21244 \pm 2281$	$304955 \pm 32749$	$204013 \pm 21909$	$109056 \pm 11711$	$115232 \pm 12375$

Астероїдна система	$M_d$ , кг	$d$ , км	$R_{\text{Меркурій}}$ , км	$R_{\text{Венера}}$ , км	$R_{\text{Земля}}$ , км	$R_{\text{Марс}}$ , км	$R_{\text{Юпітер}}$ , км	$R_{\text{Сатурн}}$ , км	$R_{\text{Уран}}$ , км	$R_{\text{Нептун}}$ , км
(2047) Smetana	$2.28 \cdot 10^{13} \pm 3.40 \cdot 10^{12}$	6,3	19349 ± 1068	47447 ± 2620	50795 ± 2805	24148 ± 1333	346044 ± 19142	231903 ± 12806	123965 ± 6846	130985 ± 7233
(2121) Sevastopol	$5.37 \cdot 10^{14} \pm 7.47 \cdot 10^{12}$	26	27860 ± 129	68316 ± 318	73137 ± 340	34770 ± 162	499117 ± 2321	333906 ± 1553	178492 ± 830	188600 ± 877
(2131) Mayall	$4.76 \cdot 10^{14} \pm 1.21 \cdot 10^{13}$	18	20079 ± 172	49235 ± 422	52710 ± 451	25059 ± 215	359714 ± 3081	240646 ± 2061	128639 ± 1102	135924 ± 1164
(2478) Tokai	$4.45 \cdot 10^{14} \pm 3.30 \cdot 10^{12}$	21	23947 ± 59	58722 ± 144	62866 ± 154	29887 ± 73	429020 ± 1050	287012 ± 703	153424 ± 376	162112 ± 397
(2577) Litva, (beta)	$5.36 \cdot 10^{13} \pm 8.04 \cdot 10^{11}$	21	48492 ± 243	118909 ± 597	127301 ± 639	60519 ± 304	868749 ± 4358	581188 ± 2916	310677 ± 1559	328271 ± 1647
(2577) Litva, (gamma)	$5.36 \cdot 10^{13} \pm 8.04 \cdot 10^{11}$	378	872854 ± 4376	2140366 ± 10737	2291409 ± 11495	1089349 ± 5465	15637479 ± 78449	10461376 ± 52481	5592189 ± 28054	5908885 ± 29648
(2691) Sersic	$1.05 \cdot 10^{14} \pm 6.91 \cdot 10^{12}$	12	22158 ± 509	54334 ± 1247	58168 ± 1335	27653 ± 635	396960 ± 9112	265564 ± 6096	141959 ± 3259	149998 ± 3443
(2754) Efimov	$2.26 \cdot 10^{14} \pm 3.15 \cdot 10^{12}$	10	14298 ± 66	35061 ± 163	37535 ± 175	17844 ± 83	256156 ± 1192	171367 ± 797	91605 ± 426	96793 ± 451
(2815) Soma	$2.81 \cdot 10^{14} \pm 1.09 \cdot 10^{13}$	13	17275 ± 229	42360 ± 561	45349 ± 601	21559 ± 286	309479 ± 4102	207040 ± 2744	110674 ± 1467	116942 ± 1550
(3034) Climenhaga	$8.30 \cdot 10^{14}$	19	17603 ± 1	43164 ± 1	46210 ± 2	21969 ± 1	315358 ± 11	210973 ± 7	112777 ± 4	119163 ± 4
(3073) Kursk	$2.51 \cdot 10^{14} \pm 2.25 \cdot 10^{12}$	22	30375 ± 90	74483 ± 221	79740 ± 237	37909 ± 113	544175 ± 1618	364050 ± 1083	194605 ± 579	205626 ± 612
(3169) Ostro	$1.86 \cdot 10^{14} \pm 6.2 \cdot 10^{13}$	5,2	7932 ± 1148	19451 ± 2814	20823 ± 3013	9900 ± 1432	142108 ± 20560	95069 ± 13754	50820 ± 7352	53698 ± 7769
(3309) Brorfelde	$9.74 \cdot 10^{13} \pm 4.79 \cdot 10^{12}$	9	17030 ± 288	41761 ± 706	44708 ± 756	21255 ± 359	305107 ± 5158	204115 ± 3451	109111 ± 1845	115290 ± 1949
(3671) Dionysus	$2.48 \cdot 10^{12}$	3,4 ± 0,6	21872 ± 1036	53633 ± 2541	57418 ± 2720	27297 ± 1293	391844 ± 18566	262141 ± 12420	140129 ± 6639	148065 ± 7015
(3673) Levy	$1.97 \cdot 10^{14} \pm 1.44 \cdot 10^{13}$	13	19450 ± 496	47695 ± 1216	51060 ± 1301	24274 ± 619	348456 ± 8881	233115 ± 5942	124613 ± 3176	131670 ± 3356
(3703) Volkonskaya	$3.48 \cdot 10^{13} \pm 3.01 \cdot 10^{12}$	7,8	20805 ± 636	51018 ± 1560	54618 ± 1671	25966 ± 794	372737 ± 11401	249358 ± 7627	133296 ± 4077	140845 ± 4308
(3749) Balam, (beta)	$5.1 \cdot 10^{14} \pm 2 \cdot 10^{13}$	289 ± 13	314969 ± 10141	772350 ± 24866	826854 ± 26620	393091 ± 12655	5642780 ± 181666	3774985 ± 121534	2017940 ± 64967	2132219 ± 68644
(3749) Balam, (gamma)	$5.1 \cdot 10^{14} \pm 2 \cdot 10^{13}$	20	21797 ± 292	53450 ± 716	57222 ± 766	27204 ± 364	390504 ± 5229	261245 ± 3498	139650 ± 1870	147558 ± 1976
(3782) Celle	$2 \cdot 10^{14} \pm 2.15 \cdot 10^{13}$	18 ± 1	26801 ± 544	65721 ± 1333	70359 ± 1427	33449 ± 678	480155 ± 9739	321220 ± 6516	171710 ± 3483	181435 ± 3680
(3841) Diccio	$1.83 \cdot 10^{14}$	12	18412 ± 1	45149 ± 2	48336 ± 2	22979 ± 1	329861 ± 11	220675 ± 7	117963 ± 4	124643 ± 4
(3868) Mendoza	$6.38 \cdot 10^{14} \pm 1.05 \cdot 10^{13}$	20	20233 ± 111	49615 ± 273	53116 ± 292	25252 ± 139	362487 ± 1995	242501 ± 1335	129630 ± 713	136972 ± 754
(3873) Roddy	$3.20 \cdot 10^{14} \pm 3.17 \cdot 10^{13}$	14	17817 ± 629	43690 ± 1544	46773 ± 1653	22236 ± 786	319198 ± 11279	213542 ± 7545	114150 ± 4033	120614 ± 4262
(3905) Doppler	$2.07 \cdot 10^{14}$	26	38302 ± 1	93923 ± 3	100551 ± 3	47803 ± 2	686201 ± 23	459064 ± 15	245396 ± 8	259293 ± 8
(3951) Zichichi	$2.18 \cdot 10^{14} \pm 2.05 \cdot 10^{13}$	16	23142 ± 772	56747 ± 1892	60751 ± 2026	28881 ± 963	414590 ± 13823	277358 ± 9248	148263 ± 4943	156660 ± 5223
(4029) Bridges	$3.98 \cdot 10^{14} \pm 1.07 \cdot 10^{13}$	13	15393 ± 140	37747 ± 344	40411 ± 368	19211 ± 175	275778 ± 2510	184494 ± 1679	98622 ± 898	104207 ± 949
(4383) Suruga	$2.13 \cdot 10^{14} \pm 9.06 \cdot 10^{12}$	11	16048 ± 234	39352 ± 574	42129 ± 615	20028 ± 292	287506 ± 4196	192340 ± 2807	102816 ± 1501	108639 ± 1586
(4440) Tchantches	$8.67 \cdot 10^{12} \pm 6.06 \cdot 10^{12}$	3,8	16109 ± 7931	39502 ± 19448	42290 ± 20820	20105 ± 9898	288602 ± 142086	193073 ± 95054	103208 ± 50812	109053 ± 53690
(4492) Debussy	$1.49 \cdot 10^{15} \pm 1.80 \cdot 10^{14}$	31	23633 ± 1034	57951 ± 2537	62041 ± 2716	29494 ± 1291	423389 ± 18535	283245 ± 12400	151410 ± 6628	159985 ± 7004
(4514) Vilen	$1.89 \cdot 10^{14}$	11	16684 ± 1	40911 ± 1	43798 ± 1	20822 ± 1	298897 ± 10	199960 ± 7	106890 ± 4	112943 ± 4
(4607) Seilandfarm	$3.00 \cdot 10^{14} \pm 1.52 \cdot 10^{13}$	19	24711 ± 431	60595 ± 1057	64871 ± 1132	30840 ± 538	442708 ± 7725	296169 ± 5168	158319 ± 2762	167285 ± 2919
(4674) Pauling	$7.44 \cdot 10^{13} \pm 2.50 \cdot 10^{12}$	250	517692 ± 5916	1269456 ± 14511	1359040 ± 15535	646096 ± 7386	9274625 ± 106020	6204666 ± 70926	3316740 ± 37914	3504573 ± 40064
(4765) Wasserburg	$5.59 \cdot 10^{12} \pm 3.83 \cdot 10^{12}$	2,9	14231 ± 6695	34897 ± 16417	37360 ± 17576	17761 ± 8356	254960 ± 119943	170567 ± 80241	91177 ± 42893	96341 ± 45323
(4786) Tatiana	$2.83 \cdot 10^{13} \pm 5.22 \cdot 10^{12}$	6,6	18860 ± 1326	46248 ± 3251	49511 ± 3480	23538 ± 1654	337884 ± 23749	226042 ± 15888	120832 ± 8493	127675 ± 8974
(4868) Knushevia	$3.33 \cdot 10^{12} \pm 1.89 \cdot 10^{12}$	2,1	12241 ± 3923	30017 ± 9619	32136 ± 10298	15277 ± 4896	219305 ± 70275	146714 ± 47014	78427 ± 25131	82868 ± 26555
(4951) Iwamoto	$7.09 \cdot 10^{13} \pm 9.69 \cdot 10^{11}$	31	65224 ± 297	159939 ± 730	171226 ± 781	81402 ± 372	1168514 ± 5333	781729 ± 35668	417878 ± 1907	441543 ± 2016
(5143) Heracles	$5.21 \cdot 10^{13} \pm 4.05 \cdot 10^{13}$	4	9325 ± 6069	22865 ± 14883	244779 ± 15934	11637 ± 7575	167054 ± 108737	111758 ± 72744	59741 ± 38886	63124 ± 41088
(5261) Eureka	$1.41 \cdot 10^{12} \pm 7.12 \cdot 10^{10}$	2,1	16296 ± 283	39959 ± 693	42779 ± 742	20337 ± 353	291941 ± 5064	195307 ± 3388	104402 ± 1811	110315 ± 1914
(5381) Sekhmet	$1.07 \cdot 10^{12} \pm 1.56 \cdot 10^{11}$	1,54 ± 0,12	13111 ± 397	32149 ± 973	34418 ± 1041	16362 ± 495	234879 ± 7107	157133 ± 4755	83996 ± 2542	88753 ± 2686
(5407) 1992 AX	$5.95 \cdot 10^{13} \pm 3.91 \cdot 10^{13}$	5,8	12937 ± 5536	31723 ± 13576	33961 ± 14534	16145 ± 6909	231766 ± 99184	155050 ± 66353	82883 ± 35469	87577 ± 37478
(5426) Sharp	$7.63 \cdot 10^{12} \pm 3.56 \cdot 10^{12}$	4,5	19904 ± 4647	48807 ± 11395	52251 ± 12199	24840 ± 5800	356580 ± 83252	238550 ± 55695	127518 ± 29772	134740 ± 31458

Астероидная система	$M_d$ , кг	$d$ , км	$R_{\text{Меркурий}}$ , км	$R_{\text{Венера}}$ , км	$R_{\text{Земля}}$ , км	$R_{\text{Марс}}$ , км	$R_{\text{Юпитер}}$ , км	$R_{\text{Сатурн}}$ , км	$R_{\text{Уран}}$ , км	$R_{\text{Нептун}}$ , км
(5477) Holmes	$2,16 \cdot 10^{13} \pm 2,85 \cdot 10^{12}$	6,7	$20938 \pm 1007$	$51343 \pm 2469$	$54966 \pm 2643$	$26131 \pm 1257$	$375109 \pm 18040$	$250946 \pm 12068$	$134144 \pm 6451$	$141741 \pm 6817$
(5481) Kiuchi	$3,56 \cdot 10^{14} \pm 2,84 \cdot 10^{12}$	15	$18424 \pm 49$	$45179 \pm 119$	$48367 \pm 128$	$22994 \pm 61$	$330078 \pm 872$	$220820 \pm 583$	$118041 \pm 312$	$124725 \pm 329$
(5646) 1990 TR	$1,79 \cdot 10^{13} \pm 9,32 \cdot 10^{12}$	5,1	$16983 \pm 4724$	$41646 \pm 11585$	$44585 \pm 12402$	$21196 \pm 5896$	$304264 \pm 84639$	$203551 \pm 56623$	$108809 \pm 30268$	$114971 \pm 31982$
(5899) Jedicke	$1,39 \cdot 10^{13} \pm 2,60 \cdot 10^{12}$	4,4	$15938 \pm 1138$	$39082 \pm 2791$	$41840 \pm 2988$	$19891 \pm 1420$	$285530 \pm 20389$	$191018 \pm 13640$	$102110 \pm 7292$	$107892 \pm 7705$
(5905) Johnson	$7,39 \cdot 10^{13} \pm 3,48 \cdot 10^{12}$	9,3	$19299 \pm 313$	$47324 \pm 767$	$50664 \pm 821$	$24086 \pm 390$	$345749 \pm 5601$	$231304 \pm 3747$	$123645 \pm 2003$	$130647 \pm 2116$
(6084) Bascom	$1,78 \cdot 10^{14} \pm 1,88 \cdot 10^{13}$	20	$30958 \pm 1169$	$75912 \pm 2867$	$81269 \pm 3070$	$38636 \pm 1459$	$554615 \pm 20949$	$371034 \pm 14015$	$198338 \pm 7492$	$209570 \pm 7916$
(6244) Okamoto	$2,51 \cdot 10^{14} \pm 2,25 \cdot 10^{12}$	13	$17949 \pm 53$	$44013 \pm 131$	$47119 \pm 140$	$22401 \pm 67$	$321558 \pm 956$	$215120 \pm 640$	$114994 \pm 342$	$121506 \pm 361$
(6265) 1985 TW3	$9,34 \cdot 10^{13} \pm 5,82 \cdot 10^{12}$	8	$15356 \pm 332$	$37655 \pm 815$	$40312 \pm 872$	$19165 \pm 415$	$275108 \pm 5953$	$184045 \pm 3982$	$98383 \pm 2129$	$103954 \pm 2250$
(6615) Plutarchos	$2,59 \cdot 10^{13} \pm 9,91 \cdot 10^{11}$	9,7	$28529 \pm 372$	$69958 \pm 912$	$74895 \pm 976$	$35606 \pm 464$	$511114 \pm 6662$	$341932 \pm 4457$	$182782 \pm 2382$	$193133 \pm 2517$
(6708) Bobbievaile	$4,32 \cdot 10^{14} \pm 3,23 \cdot 10^{12}$	19	$21883 \pm 54$	$53659 \pm 133$	$57446 \pm 142$	$27310 \pm 68$	$392033 \pm 969$	$262267 \pm 649$	$140197 \pm 347$	$148136 \pm 366$
(7088) Ishtar	$2,25 \cdot 10^{12}$	2,8	$18606 \pm 1$	$45626 \pm 2$	$48846 \pm 2$	$23221 \pm 1$	$333341 \pm 11$	$223003 \pm 7$	$119208 \pm 4$	$125959 \pm 4$
(7225) Huntress	$2,35 \cdot 10^{14} \pm 2,37 \cdot 10^{13}$	10	$14108 \pm 507$	$34594 \pm 1243$	$37035 \pm 1331$	$17607 \pm 633$	$252742 \pm 9085$	$169083 \pm 6078$	$90384 \pm 3249$	$95503 \pm 3433$
(7369) Gavrilin	$3,59 \cdot 10^{14}$	27	$33076 \pm 1$	$81107 \pm 3$	$86831 \pm 3$	$41280 \pm 1$	$592568 \pm 20$	$396424 \pm 13$	$211911 \pm 7$	$223912 \pm 7$
(7958) Leakey	$1,90 \cdot 10^{13} \pm 3,20 \cdot 10^{12}$	10	$32650 \pm 2074$	$80062 \pm 5085$	$85712 \pm 5444$	$40748 \pm 2588$	$584932 \pm 37153$	$391316 \pm 24855$	$209180 \pm 13286$	$221026 \pm 14039$
(8116) Jeanperrin	$7,80 \cdot 10^{13} \pm 4,13 \cdot 10^{12}$	13	$26499 \pm 484$	$64980 \pm 1187$	$69565 \pm 1270$	$33072 \pm 604$	$474740 \pm 8669$	$317598 \pm 5800$	$169774 \pm 3100$	$179388 \pm 3276$
(8306) Shoko	$2,77 \cdot 10^{13}$	9,4	$27049 \pm 1$	$66327 \pm 2$	$71008 \pm 2$	$33757 \pm 1$	$484583 \pm 16$	$324183 \pm 11$	$173294 \pm 6$	$183108 \pm 6$
(8373) Stephengould	$1,24 \cdot 10^{14}$	15	$26191 \pm 1$	$64225 \pm 2$	$68757 \pm 2$	$32688 \pm 1$	$469225 \pm 16$	$313909 \pm 10$	$167802 \pm 6$	$177305 \pm 6$
(8474) Rettig	$7,63 \cdot 10^{13}$	14	$28737 \pm 1$	$70466 \pm 2$	$75439 \pm 3$	$35864 \pm 1$	$514827 \pm 17$	$344416 \pm 12$	$184110 \pm 6$	$194536 \pm 6$
(9069) Howland	$2,26 \cdot 10^{13}$	7,8	$24016 \pm 1$	$58890 \pm 2$	$63046 \pm 2$	$29972 \pm 1$	$430248 \pm 14$	$287833 \pm 10$	$153863 \pm 5$	$162577 \pm 5$
(9260) Edwardolson	$5,40 \cdot 10^{13} \pm 1,40 \cdot 10^{13}$	7,2	$16582 \pm 1738$	$40663 \pm 4261$	$43532 \pm 4562$	$20695 \pm 2169$	$297081 \pm 31133$	$198745 \pm 20828$	$106240 \pm 11134$	$112257 \pm 11704$
(9617) Grahamchapman	$3,71 \cdot 10^{11} \pm 1,81 \cdot 10^{11}$	5,2	$33206 \pm 2680$	$81427 \pm 6571$	$87173 \pm 7035$	$41443 \pm 3344$	$594903 \pm 48007$	$397986 \pm 32116$	$212746 \pm 17168$	$224794 \pm 18140$
(10208) Germanicus	$2,85 \cdot 10^{13} \pm 4,72 \cdot 10^{12}$	13	$37061 \pm 2307$	$90879 \pm 5658$	$97293 \pm 6057$	$46253 \pm 2880$	$663963 \pm 41338$	$444187 \pm 27655$	$237443 \pm 14783$	$250890 \pm 15621$
(11217) 1999 JC4	$3,01 \cdot 10^{13}$	6,2	$17354 \pm 1$	$42554 \pm 1$	$45557 \pm 2$	$21658 \pm 1$	$310902 \pm 10$	$207992 \pm 7$	$111183 \pm 4$	$117480 \pm 4$
(11264) Claudiomaccone	$4,02 \cdot 10^{13}$	6	$15250 \pm 1$	$37394 \pm 1$	$40033 \pm 1$	$19032 \pm 1$	$273202 \pm 9$	$182770 \pm 6$	$97701 \pm 3$	$103234 \pm 3$
(15268) Wendelinefroger	$4,71 \cdot 10^{13}$	8,7	$20982 \pm 1$	$51450 \pm 2$	$55081 \pm 2$	$26186 \pm 1$	$375895 \pm 13$	$251471 \pm 8$	$134425 \pm 4$	$142038 \pm 5$
(15430) 1998 UR31	$4,38 \cdot 10^{13} \pm 1,05 \cdot 10^{12}$	8,2	$20250 \pm 164$	$49657 \pm 403$	$53161 \pm 432$	$25273 \pm 205$	$362794 \pm 2945$	$242707 \pm 1970$	$129740 \pm 1053$	$137088 \pm 1113$
(15822) 1994 TV15	$4,43 \cdot 10^{12} \pm 2,18 \cdot 10^{12}$	3,3	$17501 \pm 4427$	$42916 \pm 10856$	$45944 \pm 11622$	$21842 \pm 5525$	$313543 \pm 79311$	$209758 \pm 53058$	$112127 \pm 28363$	$118477 \pm 29969$
(16525) Shumarinaiko	$1,17 \cdot 10^{14} \pm 1,01 \cdot 10^{13}$	8,1	$14432 \pm 442$	$35388 \pm 1085$	$37886 \pm 1161$	$18011 \pm 552$	$258546 \pm 7924$	$172965 \pm 5301$	$92460 \pm 2834$	$97696 \pm 2994$
(16635) 1993 QO	$8,21 \cdot 10^{13}$	12	$24044 \pm 1$	$58959 \pm 2$	$63119 \pm 2$	$30007 \pm 1$	$430751 \pm 14$	$288170 \pm 10$	$154043 \pm 5$	$162766 \pm 5$
(17246) 2000 GL74	$7,63 \cdot 10^{13}$	228	$467997 \pm 17$	$1147597 \pm 39$	$1228582 \pm 41$	$584075 \pm 19$	$8384325 \pm 280$	$5609061 \pm 188$	$2998356 \pm 100$	$3168159 \pm 103$
(17260) 2000 JQ58	$8,26 \cdot 10^{13} \pm 1,61 \cdot 10^{12}$	7,4	$14794 \pm 97$	$36278 \pm 237$	$38838 \pm 254$	$18464 \pm 121$	$265044 \pm 1735$	$177312 \pm 1160$	$94783 \pm 620$	$100151 \pm 656$
(17365) 1978 VF11	$2,26 \cdot 10^{16} \pm 7,94 \cdot 10^{14}$	43	$13243 \pm 158$	$32474 \pm 389$	$34766 \pm 416$	$16528 \pm 198$	$237256 \pm 2839$	$158723 \pm 1899$	$84846 \pm 1015$	$89651 \pm 1073$
(18890) 2000 EV26	$4,82 \cdot 10^{13} \pm 7,49 \cdot 10^{11}$	6	$14357 \pm 75$	$35206 \pm 183$	$37691 \pm 196$	$17918 \pm 93$	$257216 \pm 1338$	$172076 \pm 895$	$91984 \pm 478$	$97193 \pm 506$
(22899) 1999 TO14	$1,45 \cdot 10^{14} \pm 3,56 \cdot 10^{13}$	182	$301383 \pm 29529$	$739035 \pm 72412$	$791188 \pm 77522$	$376135 \pm 36855$	$5399378 \pm 529042$	$3612150 \pm 353925$	$1930896 \pm 189193$	$2040246 \pm 199909$
(26074) Carlwirth	$3,97 \cdot 10^{13}$	6,1	$15565 \pm 1$	$38167 \pm 1$	$40860 \pm 1$	$19425 \pm 1$	$278848 \pm 9$	$186547 \pm 6$	$99720 \pm 3$	$105367 \pm 3$
(26308) 1998 SM165	$6,87 \cdot 10^{18} \pm 1,8 \cdot 10^{16}$	11377	$\pm 8$	$1277857 \pm 176$	$1368033 \pm 188$	$650371 \pm 90$	$9336000 \pm 1286$	$6245726 \pm 860$	$3338689 \pm 460$	$3527765 \pm 489$
(26471) 2000 AS152	$1,57 \cdot 10^{14} \pm 3,34 \cdot 10^{13}$	18	$29070 \pm 2418$	$71284 \pm 5929$	$76314 \pm 6348$	$36280 \pm 3018$	$520797 \pm 43321$	$348410 \pm 28981$	$186245 \pm 15492$	$196799 \pm 16370$
(27568) 2000 PT6	$5,86 \cdot 10^{12} \pm 3,56 \cdot 10^{12}$	3,1	$14975 \pm 5478$	$36720 \pm 13432$	$39311 \pm 14380$	$18689 \pm 6836$	$268275 \pm 98133$	$179474 \pm 65651$	$95939 \pm 35094$	$101372 \pm 37081$
(29314) Eurydamas	$1,44 \cdot 10^{16} \pm 1,41 \cdot 10^{14}$	41	$14674 \pm 48$	$35983 \pm 117$	$38523 \pm 125$	$18314 \pm 59$	$262895 \pm 852$	$175875 \pm 570$	$94015 \pm 305$	$99339 \pm 322$
(31345) 1998 PG	$7,01 \cdot 10^{11} \pm 4,14 \cdot 10^{11}$	1,4	$13722 \pm 4751$	$33648 \pm 11651$	$36022 \pm 12473$	$17125 \pm 5930$	$245828 \pm 85121$	$164458 \pm 56945$	$87912 \pm 30440$	$92890 \pm 32164$



Астероїдна система	$M_d$ , кг	$d$ , км	$R_{\text{Меркурій}}$ , км	$R_{\text{Венера}}$ , км	$R_{\text{Земля}}$ , км	$R_{\text{Марс}}$ , км	$R_{\text{Юпітер}}$ , км	$R_{\text{Сатурн}}$ , км	$R_{\text{Уран}}$ , км	$R_{\text{Нептун}}$ , км
(32008) 2000 HM53	$6,34 \cdot 10^{13}$	13	28387 ± 1	69610 ± 2	74522 ± 2	35428 ± 1	508568 ± 17	340229 ± 11	181871 ± 6	192171 ± 6
(32039) 2000 JO23	$5,20 \cdot 10^{13}$	53	123624 ± 4	303143 ± 10	324536 ± 11	154286 ± 5	2214759 ± 74	1481660 ± 50	792030 ± 26	836884 ± 27
(34706) 2001 OP83	$3,53 \cdot 10^{13}$	7	18580 ± 1	45560 ± 2	48775 ± 2	23188 ± 1	332862 ± 11	222683 ± 7	119036 ± 4	125778 ± 4
(35107) 1991 VH	$1,49 \cdot 10^{12} \pm 5,50 \cdot 10^{11}$	$3,26 \pm 0,035$	24853 ± 3817	60944 ± 9359	65244 ± 10020	31018 ± 4763	445254 ± 68379	297872 ± 45745	159229 ± 24453	168247 ± 25838
(38628) Нуца	$5,03 \cdot 10^{19} \pm 5,93 \cdot 10^{18}$	$1740 \pm 80$	41033 ± 325	100619 ± 796	107719 ± 852	51210 ± 405	735119 ± 5817	491790 ± 3892	262889 ± 2080	277777 ± 2198
(42355) Typhon	$8,7 \cdot 10^{17} \pm 3 \cdot 10^{16}$	$1580 \pm 20$	144116 ± 190	353392 ± 464	378331 ± 497	179861 ± 236	2581880 ± 3389	1727261 ± 2267	923318 ± 1212	975607 ± 1280
(44620) 1999 RS43	$2,57 \cdot 10^{11} \pm 1,10 \cdot 10^{11}$	2	27376 ± 5612	67129 ± 13761	71866 ± 14732	34166 ± 7004	490445 ± 100536	328105 ± 67258	175390 ± 35953	185323 ± 37989
(47171) 1999 TC36, (beta)	$2,40 \cdot 10^{13}$	5,4	16300 ± 107	39969 ± 263	42789 ± 282	20342 ± 134	292011 ± 1924	195354 ± 1287	104427 ± 688	110341 ± 727
(47171) 1999 TC36, (gamma)	$1,28 \cdot 10^{19} \pm 6 \cdot 10^{16}$	$7411 \pm 12$	275867 ± 26	676467 ± 63	724205 ± 67	344291 ± 32	4942259 ± 457	3306340 ± 306	1767423 ± 163	1867516 ± 171
(46829) 1998 OS14	$1,28 \cdot 10^{19} \pm 6 \cdot 10^{16}$	$867 \pm 11$	32273 ± 361	79139 ± 884	84723 ± 947	40278 ± 450	578186 ± 6460	386803 ± 4322	206768 ± 2310	218477 ± 2441
(51356) 2000 RY76	$2,82 \cdot 10^{13}$	13	37176 ± 1	91161 ± 3	97594 ± 3	46397 ± 2	666019 ± 22	445563 ± 15	238178 ± 8	251667 ± 8
(52316) 1992 BD	$2,90 \cdot 10^{13} \pm 5,34 \cdot 10^{11}$	4,9	13883 ± 86	34043 ± 210	36445 ± 225	17326 ± 107	248718 ± 1536	166391 ± 1028	88945 ± 549	93982 ± 581
(53432) 1999 UT55	$1,39 \cdot 10^{13}$	4	14489 ± 1	35529 ± 1	38037 ± 1	18083 ± 1	259577 ± 9	173655 ± 6	92828 ± 3	98085 ± 3
(65489) Ceto	$5,41 \cdot 10^{18} \pm 4,2 \cdot 10^{17}$	$1840 \pm 44$	91267 ± 247	223799 ± 605	239593 ± 648	113904 ± 308	1635074 ± 4422	1093854 ± 2958	584726 ± 1581	617840 ± 1671
(65803) Didymos	$5,27 \cdot 10^{11} \pm 1,51 \cdot 10^{11}$	$1,18 \pm 0,03$	12721 ± 1154	31193 ± 2830	33394 ± 3030	15876 ± 1440	227893 ± 20675	152459 ± 13831	81498 ± 7394	86113 ± 7812
(66063) 1998 RO1	$4,47 \cdot 10^{11} \pm 2,29 \cdot 10^{11}$	$1,2 \pm 0,3$	13666 ± 1218	33511 ± 2987	35876 ± 3198	17056 ± 1520	244830 ± 21827	163790 ± 14602	87555 ± 7805	92513 ± 8247
(66391) 1999 KW4	$2,49 \cdot 10^{12} \pm 5,4 \cdot 10^{10}$	$2,548 \pm 0,015$	16369 ± 22	40140 ± 55	42972 ± 59	20429 ± 28	293259 ± 402	196189 ± 269	104874 ± 144	110813 ± 152
(69230) Hermes	$2,03 \cdot 10^{11} \pm 1,10 \cdot 10^{11}$	1,1	16306 ± 4861	39985 ± 11919	42807 ± 12760	20351 ± 6066	292133 ± 87079	195435 ± 58255	104471 ± 31141	110388 ± 32904
(69406) 1995 SX48	$2,54 \cdot 10^{13} \pm 4,89 \cdot 10^{11}$	5,3	15690 ± 101	38474 ± 249	41189 ± 266	19582 ± 126	281092 ± 1816	188049 ± 1215	100523 ± 649	106216 ± 686
(76818) 2000 RG79	$3,91 \cdot 10^{13} \pm 9,77 \cdot 10^{11}$	5,6	14367 ± 121	35231 ± 297	37717 ± 318	17931 ± 151	257396 ± 2172	172196 ± 1453	92048 ± 777	97261 ± 821
(79472) 1998 AX4	$4,56 \cdot 10^{13} \pm 1,08 \cdot 10^{12}$	9	21933 ± 176	53783 ± 431	57578 ± 461	27373 ± 219	392936 ± 3147	262872 ± 2105	140520 ± 1125	148478 ± 1189
(80218) 1999 VO123	$1,84 \cdot 10^{10}$	0,9	29690 ± 1	72803 ± 2	77941 ± 3	37054 ± 1	531900 ± 18	355838 ± 12	190215 ± 6	200988 ± 7
(85938) 1999 DJ4	$7,46 \cdot 10^{10} \pm 3,76 \cdot 10^{10}$	0,8	16548 ± 4358	40577 ± 10688	43441 ± 11442	20652 ± 5440	296457 ± 78084	198328 ± 52237	106017 ± 27924	112021 ± 29505
(88710) 2001 SL9	$7,42 \cdot 10^{11} \pm 4,63 \cdot 10^{10}$	1,6	15388 ± 334	37734 ± 818	40396 ± 876	19205 ± 416	275681 ± 5978	184429 ± 3999	98587 ± 2138	104171 ± 2259
(90482) Orclus	$6,36 \cdot 10^{20} \pm 3,3 \cdot 10^{18}$	$9006 \pm 16$	91188 ± 8	223607 ± 19	239387 ± 20	113806 ± 9	1633672 ± 136	1092916 ± 91	584225 ± 49	617311 ± 51
(99913) 1997 CZ5	$2,60 \cdot 10^{14}$	11	15008 ± 1	36802 ± 1	39399 ± 1	18731 ± 1	268875 ± 9	179875 ± 6	96153 ± 3	101599 ± 3
(136617) 1994 CC, (beta)	$2,66 \cdot 10^{11} \pm 3,29 \cdot 10^{10}$	$1,729 \pm 0,008$	23410 ± 939	57404 ± 2303	61455 ± 2466	29216 ± 1172	419392 ± 16827	280570 ± 11257	149981 ± 6018	158474 ± 6359
(136617) 1994 CC, (gamma)	$2,66 \cdot 10^{11} \pm 3,29 \cdot 10^{10}$	$6,130 \pm 0,108$	82997 ± 2203	203520 ± 5403	217882 ± 5784	103582 ± 2750	1486912 ± 39473	994735 ± 26407	531741 ± 14116	561855 ± 14916
(137170) 1999 HF1	$5,09 \cdot 10^{13} \pm 3,08 \cdot 10^{13}$	$7,3 \pm 1,8$	16556 ± 1301	40597 ± 3189	43462 ± 3414	20662 ± 1623	296601 ± 23301	198424 ± 15588	106069 ± 8333	112076 ± 8805
(153591) 2001 SN263, (beta)	$9,51 \cdot 10^{12} \pm 1,3 \cdot 10^{11}$	$16,633 \pm 0,163$	68360 ± 361	167629 ± 885	179459 ± 947	85316 ± 450	1224698 ± 6466	819315 ± 4326	437970 ± 2312	462773 ± 2443
(153591) 2001 SN263, (gamma)	$9,51 \cdot 10^{12} \pm 1,3 \cdot 10^{11}$	$3,804 \pm 0,002$	15634 ± 63	38337 ± 155	41043 ± 166	19512 ± 79	280091 ± 1131	187379 ± 756	100165 ± 404	105837 ± 427
(153958) 2002 AM31	$1,48 \cdot 10^{11} \pm 4,79 \cdot 10^{10}$	1,5	24668 ± 3421	60490 ± 8389	64758 ± 8981	30786 ± 4270	441936 ± 61289	295652 ± 41002	158043 ± 21918	166993 ± 23159
(162000) 1990 OS	$2,29 \cdot 10^{10} \pm 4,53 \cdot 10^9$	0,6	18392 ± 1400	45100 ± 3434	48283 ± 3676	22954 ± 1748	329502 ± 25086	220435 ± 16782	117835 ± 8971	124508 ± 9479

Астероидная система	$M_d$ , кг	$d$ , км	$R_{\text{Меркурий}}$ , км	$R_{\text{Венера}}$ , км	$R_{\text{Земля}}$ , км	$R_{\text{Марс}}$ , км	$R_{\text{Юпитер}}$ , км	$R_{\text{Сатурн}}$ , км	$R_{\text{Уран}}$ , км	$R_{\text{Нептун}}$ , км
(162483) 2000 PJ5	$1,39 \cdot 10^{11}$	$1,05 \pm 0,1$	$17634 \pm 1680$	$43241 \pm 4120$	$46292 \pm 4410$	$22008 \pm 2097$	$315917 \pm 30099$	$211346 \pm 20136$	$112976 \pm 10764$	$119374 \pm 11373$
(164121) 2003 YF1	$1,27 \cdot 10^{12} \pm 3,9 \cdot 10^{11}$	$3,93 \pm 0,8$	$46838 \pm 84382$	$114854 \pm 206918$	$122959 \pm 221520$	$58455 \pm 105312$	$839118 \pm 1511740$	$561365 \pm 1011345$	$300081 \pm 540620$	$317075 \pm 571237$
(175706) 1996 FG3	$4,26 \cdot 10^{12} \pm 1,29 \cdot 10^{12}$	$3 \pm 0,6$	$16114 \pm 1591$	$39515 \pm 3902$	$42303 \pm 4178$	$20111 \pm 1986$	$288693 \pm 28510$	$193134 \pm 19073$	$103241 \pm 10196$	$109088 \pm 10773$
(185851) 2000 DP107	$4,6 \cdot 10^{11} \pm 5 \cdot 10^{10}$	$2,62 \pm 0,16$	$29554 \pm 746$	$72470 \pm 1828$	$77584 \pm 1957$	$36884 \pm 931$	$529461 \pm 13357$	$354206 \pm 8936$	$189343 \pm 4777$	$200066 \pm 5047$
(276049) 2002 CE26	$1,95 \cdot 10^{13} \pm 2,5 \cdot 10^{12}$	$4,7 \pm 0,2$	$15205 \pm 34$	$37284 \pm 83$	$39915 \pm 89$	$18976 \pm 42$	$273399 \pm 604$	$182233 \pm 404$	$97414 \pm 216$	$102930 \pm 228$
(285263) 1998 QE2	$1,44 \cdot 10^{13} \pm 3,97 \cdot 10^{12}$	$6,212 \pm 0,1$	$22213 \pm 2113$	$54469 \pm 5180$	$58313 \pm 5546$	$27722 \pm 2637$	$397950 \pm 37848$	$266226 \pm 25320$	$142313 \pm 13535$	$150372 \pm 14302$
(311066) 2004 DC	$3,59 \cdot 10^{10}$	$0,75 \pm 0,045$	$19797 \pm 1189$	$48544 \pm 2914$	$51970 \pm 3120$	$24707 \pm 1483$	$354662 \pm 21292$	$237267 \pm 14244$	$126832 \pm 7614$	$134015 \pm 8046$
(341520) Mors-Somnus	$7,81 \cdot 10^{17} \pm 9 \cdot 10^{15}$	$21040 \pm 70$	$1989401 \pm 984$	$4878302 \pm 2427$	$5222558 \pm 2599$	$2482835 \pm 1236$	$35640794 \pm 17740$	$23843469 \pm 11866$	$12745664 \pm 6344$	$13467475 \pm 6714$
(357439) 2004 BL86	$2,87 \cdot 10^8$	0,5	$42225 \pm 2$	$103543 \pm 3$	$110849 \pm 4$	$52698 \pm 2$	$756480 \pm 25$	$506081 \pm 17$	$270528 \pm 9$	$285849 \pm 9$
(363027) 1998 ST27	$4,29 \cdot 10^{11}$	$4,5 \pm 0,5$	$51957 \pm 5775$	$127406 \pm 14161$	$136397 \pm 15160$	$64844 \pm 7207$	$930826 \pm 103460$	$622717 \pm 69214$	$332877 \pm 36999$	$351728 \pm 39094$
(363067) 2000 CO101	$2,00 \cdot 10^{11}$	0,61	9088	$22285 \pm 1$	$23857 \pm 1$	11342	$16281 \pm 5$	108920 $\pm 4$	$58224 \pm 2$	$61521 \pm 2$
(363599) 2004 FG11	$3,17 \cdot 10^9 \pm 1,72 \cdot 10^9$	$0,25 \pm 0,05$	$14824 \pm 571$	$36350 \pm 1401$	$38916 \pm 1500$	$18501 \pm 713$	$265576 \pm 10234$	$177669 \pm 6846$	$94974 \pm 3660$	$100352 \pm 3867$
(374851) 2006 VV2	$1,00 \cdot 10^{12} \pm 1,41 \cdot 10^{11}$	1,5	$13042 \pm 676$	$31981 \pm 1657$	$34238 \pm 1773$	$16277 \pm 843$	$233651 \pm 12103$	$156311 \pm 8097$	$83557 \pm 4328$	$88289 \pm 4573$
(385186) 1994 AW1	$6,97 \cdot 10^{11} \pm 4,44 \cdot 10^{10}$	2	$19644 \pm 435$	$48170 \pm 1068$	$51569 \pm 1143$	$24516 \pm 543$	$351926 \pm 7801$	$235436 \pm 5219$	$125854 \pm 2790$	$132981 \pm 2948$
(399307) 1991 RJ2	$1,05 \cdot 10^{11}$	0,86	$15887 \pm 1$	$38958 \pm 1$	$41707 \pm 1$	$19828 \pm 1$	$284626 \pm 9$	$190413 \pm 6$	$101786 \pm 3$	$107551 \pm 4$
(399774) 2005 NB7	$1,17 \cdot 10^{11} \pm 6,37 \cdot 10^{10}$	0,6	$10673 \pm 3181$	$26172 \pm 7801$	$28019 \pm 8352$	$13321 \pm 3971$	$191215 \pm 56997$	$127921 \pm 38131$	$68381 \pm 20383$	$72254 \pm 21537$
1994 CJ1	$2,83 \cdot 10^9$	0,525	$32329 \pm 1$	$79275 \pm 3$	$84869 \pm 3$	$40347 \pm 1$	$579180 \pm 19$	$387468 \pm 13$	$207123 \pm 7$	$218853 \pm 7$
1994 XD	$2,15 \cdot 10^{11} \pm 1,39 \cdot 10^{11}$	$0,6 \pm 0,3$	$8723 \pm 2565$	$21389 \pm 6289$	$22898 \pm 6733$	$10886 \pm 3201$	$156267 \pm 45951$	$104542 \pm 30741$	$55883 \pm 16433$	$59048 \pm 17363$
2000 UG11	$9,4 \cdot 10^9 \pm 1,6 \cdot 10^9$	$0,426 \pm 0,027$	$17576 \pm 161$	$43100 \pm 394$	$46141 \pm 421$	$21936 \pm 200$	$314885 \pm 2876$	$210656 \pm 1924$	$112608 \pm 1028$	$118985 \pm 1087$
2002 BM26	$1,82 \cdot 10^{11} \pm 2,72 \cdot 10^{10}$	1,4	$21499 \pm 1187$	$52718 \pm 2911$	$56439 \pm 3117$	$26831 \pm 1482$	$385160 \pm 21269$	$257669 \pm 14229$	$137739 \pm 7606$	$145539 \pm 8037$
2003 SS84	$1,57 \cdot 10^9 \pm 7,31 \cdot 10^8$	0,27	$20236 \pm 4703$	$49621 \pm 11532$	$53122 \pm 12346$	$25255 \pm 5869$	$362527 \pm 84254$	$242529 \pm 56365$	$129645 \pm 30130$	$136987 \pm 31837$
2005 AB	$5,93 \cdot 10^{12}$	3,4	$16357 \pm 1$	$40109 \pm 1$	$42940 \pm 1$	$20414 \pm 1$	$293038 \pm 10$	$196040 \pm 7$	$104795 \pm 4$	$110729 \pm 4$
2006 GY2	$5,36 \cdot 10^{10}$	0,5	11546	$28312 \pm 1$	$30310 \pm 1$	14410	$206850 \pm 7$	$138381 \pm 5$	$73973 \pm 2$	$78162 \pm 3$
2007 DT103	$2,26 \cdot 10^{10}$	0,45	$13855 \pm 1$	$33975 \pm 1$	$36372 \pm 1$	$17292 \pm 1$	$248220 \pm 8$	$166058 \pm 6$	$88767 \pm 3$	$93794 \pm 3$
2007 LE	$1,05 \cdot 10^{11}$	1,4	$25863 \pm 1$	$63420 \pm 2$	$67895 \pm 2$	$32278 \pm 1$	$463344 \pm 15$	$309974 \pm 10$	$165699 \pm 6$	$175082 \pm 6$
2008 BT18	$1,81 \cdot 10^{11}$	1,5	$23092 \pm 1$	$56625 \pm 2$	$60621 \pm 2$	$28819 \pm 1$	$413700 \pm 14$	$276763 \pm 9$	$147945 \pm 5$	$156324 \pm 5$

## 5. ВЫВОДЫ

Были проанализированы работы [1–4] о динамике и возможностях распада тройных систем. Нами получена формула (6), позволяющая рассчитать критическое планетоцентрическое расстояние астероидной системы (табл. 3), при котором произойдет распад, обусловленный приливными силами планет Солнечной системы.

В результате интегрирования дифференциальных уравнений методом Эверхарта получены расстояния астероидных систем до планет на интервале времени 17 000 лет, промежутки времени ограничен теорией DE431. На выбранном промежутке времени не было найдено сближений на критическое расстояние распада. Построены графики изменения элементов орбит для двух астероидных систем из группы AC3 и Главного пояса. Из графиков (рис. 2–3) видно, что эксцентриситет и наклонение астероидной системы (66391) 1999 KW4 изменяются вековым образом под воздействием гравитационного влияния планет и описываются полиномами 3-й степени (9)–(10). У астероидной системы (41) Daphne эксцентриситет и наклонение (рис. 4–5) изменяются периодически и описываются полиномами 6-й степени (11)–(12). Так же из рис. 4 видно, что у эксцентриситета присутствует второй вклад переменности, более высокий.

При численном интегрировании уравнений движения, обязателен контроль точности результатов. Погрешность модели составляет  $10^{-7}$  метра на 100 лет. Результаты получены методом прямого и обратного интегрирования.

Также были получены изменения в кеплеровых элементах орбиты для спутника астероида (66391) 1999 KW4 в астероидоцентрической системе координат. Большая полуось спутника астероида изменяется вековым образом, уменьшаясь на 1 метр каждые 150 лет. Наклон орбиты ведет себя идентично с большой полуосью и изменяется на  $0,4^\circ$  каждые 150 лет. Отсюда можно сделать вывод, что вековые возмущения, наряду с давлением света [16], могут быть одной из причин перехода спутника на околополярную или даже ретроградную орбиту.

Как видно из рис. 6, значения эксцентриситета подавляющего большинства двойных и кратных астероидных систем не превышают величины 0,3, а угол наклона астероидной системы относительно плоскости эклиптики не превышает  $30^\circ$ .

При исследовании всего массива известных двойных и кратных астероидов построен график (рис. 7) зависимости количества астероидных систем к соотношению диаметров компонентов этих систем. Данная кривая аппроксимируется полиномом 5-й степени (13). Из 243 исследованных астероидных систем более половины пар имеют спутники, которые меньше  $1/3$  главного компонента по диаметру.

По результатам исследования двойных и кратных астероидных систем можно сделать вывод, что необходимо рассматривать динамику движения на более длительном промежутке времени (до 100 млн. лет вперед и назад) с учетом остальных условий распада: несферичности главного астероида, давления солнечного света [16] на спутник, эллиптичности орбиты спутника и взаимного угла наклона между плоскостями орбиты астероидной системы и орбиты близлежащей планеты. Усложнение модели движения и увеличение промежутка времени численного интегрирования позволит глубже изучить динамику астероидных систем.

1. Агекян Т.А., Мартынова А.И. О классификации состояний в задаче трех тел // Вестник ЛГУ, Сер. 1. — 1973. — № 1. — С.122–126.
2. Аносова Ж.П. A Classification of Motion Types in the General Three-Body Problem // Астрон. цирк. — 1986. — № 1442. — С.1.
3. Базей А.А., Кара И.В. Применение методов Эверхарта 15, 17, 19, 21 порядков для вычисления траектории движения небесных тел в околопланетном пространстве // Вісник Астрономічної школи. — 2009. — 6, № 2. — С.155–157.
4. Мартынова А.И., Орлов В.В., Рубинов А.В. и др. Динамика тройных систем: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2010. — 216 с.
5. Троянский В.В., Базей А.А. Гравитационные сферы двойных и кратных AC3 // International scientific and methodological conference “KIOLOS 2013”. — December 2014, Vihorlat Observatory, Slovakia. — P.4.
6. Chavineau B., Mignard F., Farinella P. The lifetime of binary asteroids vs gravitation encounters and collisions // Icarus. — 1991. — 94, Issue 2. — P.299–310.
7. Braga-Ribas F., et al. A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo // Nature. — 2014. — 508. — P.72–75.
8. Bottke W.F., Melosh H.J. Formation of asteroid satellites and doublet craters by planetary tidal forces // Nature. — 1996. — 381. — P.51–53.
9. Fang J., Margot J.-L., Brozovic M., et al. Orbits of Near-Earth Asteroid Triples 2001 SN263 and 1994 CC: Properties, Origin, and Evolution // The Astronomical Journal. — 2011. — 141. — P.154.
10. Farinella P., Paolicchi P., Tedesco E., Zappala V. Triaxial equilibrium ellipsoids among the asteroids? // Icarus. — 1981. — 46, Issue 1. — P. 114–123.

11. *Folkner W.M., Williams J.G. et al.* The Planetary and Lunar Ephemerides DE430 and DE431 // Interoffice Memo, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, 2014.
12. *Marchis F., Vachier F., Durech J., et al.* Characteristics and large bulk density of the C-type main-belt triple asteroid (93) Minerva // *Icarus*. — 2013. — **224**, Issue 1. — P.178–191.
13. *Margot J.L., Brown M.E.* A Low-Density M-type Asteroid in the Main Belt // *Science*. — 2003. — **300**, Issue 5627. — P.1939–1942.
14. *Ostro S.J., Margot J.-L., Benner L.A.M., et al.* Radar Imaging of Binary Near-Earth Asteroid (66391) 1999 KW4 // *Science*. — 2006. — **314**, Issue 5803. — P.1276–1280.
15. *Zhang S.-P., Innanen K.A.* The stable region of satellite of large asteroids // *Icarus*. — 1988. — **75**, Issue 2. — P.105–112.
16. *Troianskyi V.V., Bazyey O.A.* The Solar-radiation pressure effects on the orbital evolution of asteroid moons // *Odessa Astronomical Publications*. — 2015. — **28**, Issue 1. — P.76–77.
17. *Troianskyi V., Bazyey O., Kashuba V., Zhukov* Determination of the small Solar system bodies orbital elements from astrometric observations with OMT-800 telescope // *Proceeding of GAIA-FUN-SSO #3*. — November 2014, Paris, France. — P.127–130.
18. *Troianskyi V., Bazyey O., Kashuba V., Zhukov, Korzhavin S.* Method for calculating orbits of near-Earth asteroids observed with telescope OMT-800 // *Odessa Astronomical Publications*. — 2014. — **27**, Issue 2. — P.154–155.
19. *Walsh K.J.* Rotational breakup as the origin of small binary asteroids // *Nature*. — 2008. — **454** (7201). — P.188–191.
20. *Weidenschilling S.J., Paolicchi P., Zappala V.* Do asteroids have satellites? // *Asteroids II* (Tuscon Univ. of Arizona). — 1987. — P.643–658.
21. <http://www.astronet.ru/db/msg/1189784/node6.html>
22. <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg>
23. <http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html>
24. <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>
25. [http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet\\_phys\\_par](http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet_phys_par)

Поступила в редакцию 6.10.2015  
Принята к печати 11.12.2015