

УДК 521.172; 523.214

**НИЗКОСКОРОСТНЫЕ СБЛИЖЕНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ МАЛЫХ ТЕЛ  
С ПЛАНЕТАМИ<sup>1</sup>***Емельяненко Н. Ю.<sup>2</sup>*

LOW VELOCITY ENCOUNTERS OF THE OBSERVED SMALL BODIES WITH PLANETS

Emelyanenko N. Yu.

Low velocity encounters of the observed small bodies with planets are discovered and investigated. Before encounters, the orbits of small bodies belong to the regions  $\omega_P$ . There are the peculiarities in the encounters: the temporary satellite capture in sense of Everhart, the temporary gravitational capture in the Hill sphere, the multiple minima of the planet-centric distance function. The peculiarities in the encounters correspond to the position of the orbit of a small body on the plane  $(a, e)$ .

Keywords: low-velocity encounters, satellite capture.

**Введение**

В последние годы резко увеличивается число открываемых малых тел. Их число уже перевалило за 10 тысяч объектов. И если в прошлом веке каждый новый объект сразу исследовался с динамической точки зрения, то сейчас сделать это быстро уже невозможно. Поэтому актуальная задача состоит в выделении наиболее интересных объектов.

В связи со вставшей на повестку дня задачей изучения кометно-астероидной опасности для Земли особый интерес представляет изучение сближений комет и астероидов с Землей. Изучение сближений малых тел с планетами позволяет выделить закономерности сближений, частоту их возникновения, возможные варианты сближений и способы предотвращения столкновения на примере другой планеты. Планеты земной группы испытывали подобные катаклизмы как в далеком прошлом, так и в настоящее время. Актуальной задачей сейчас является поиск малых тел, эволюции элементов орбит которых приводят к сближениям или столкновениям с планетами в прошлом или в будущем.

В работе приводится способ выделения малых тел, которые могут испытать сближе-

ния с планетами. Именно эти объекты нуждаются в первостепенном изучении.

**1. Основные задачи исследования**

Для планет Солнечной системы провести анализ расположения на плоскости  $(a, e)$  областей, допускающих низкоскоростные сближения с планетой (планетные области  $\omega_P$ ).

Выделить наблюдаемые малые тела в областях  $\omega_P$ , в пересечениях областей и в промежутках между ними (ямах).

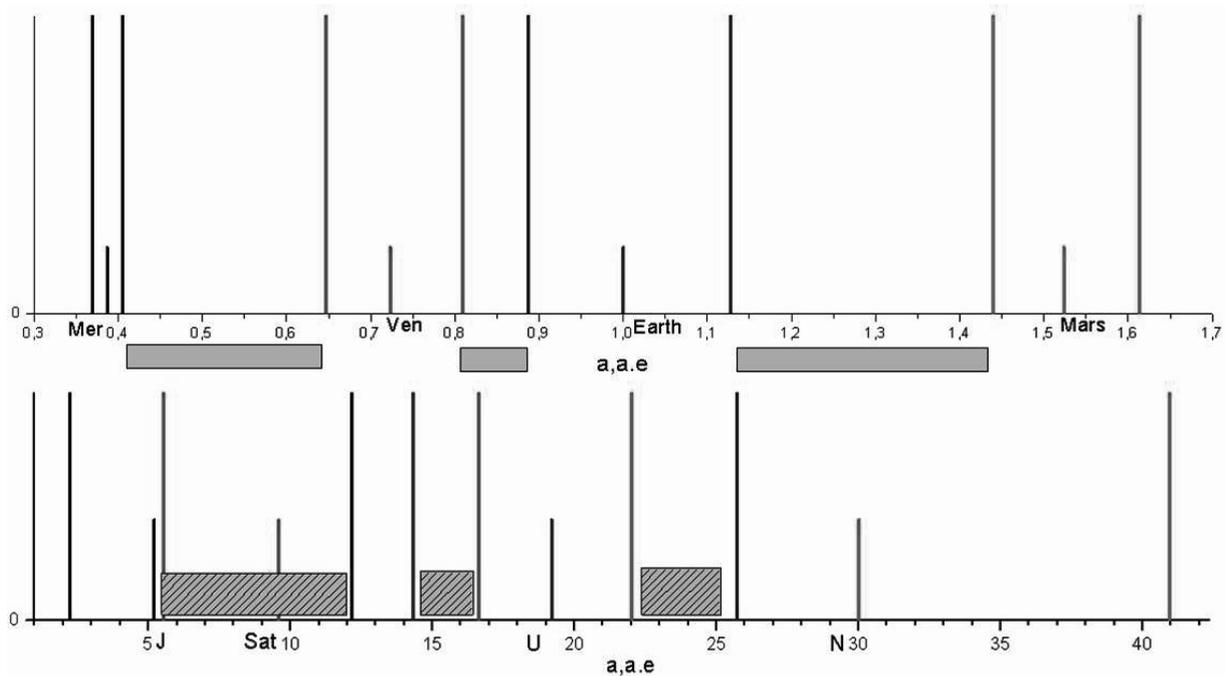
**2. Планетные области**

В работе [1] предложены области  $\omega_P$  — области орбит малых тел, которые могут привести тело к сближению с особенностями. Нижние и вертикальные границы областей задаются функциями, связывающими переменные  $a$  и  $e$ .

В функцию верхней границы входит параметр Тиссерана  $T_P^{\text{lim}}$  (определение параметра и таблица с его значениями для каждой планеты даны в работе [1]). Областью сближения считаем воображаемую сферу радиусом  $r = 6R_H^P$  (это радиус низкоскорост-

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке Программы 22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

<sup>2</sup>Емельяненко Наталья Юрьевна, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института астрономии РАН; e-mail: nyuemel@inasan.ru.

Области  $\omega_P$ , ямы и пересечения для планет Солнечной системы

ного сближения с планетой [2],  $R_H^P$  — радиус сферы Хилла планеты  $P$ ).

Промежутки между областями  $\omega_P$  планет земной группы названы ямами. Промежутки внутри областей  $\omega_P$  планет-гигантов, принадлежащие одновременно двум соседним областям, названы пересечениями. Определены наблюдаемые объекты, орбиты которых принадлежат каждой из выделенных областей. Все выделенные области представлены на рисунке. Короткими вертикальными линиями обозначены положения планет. Длинные линии — это границы областей  $\omega_P$ . Ямы показаны прямоугольниками под рисунком, пересечения — заштрихованными прямоугольниками над рисунком. Меркурий и Венера не имеют объектов в своих областях. У Земли и Марса такие малые тела имеются, также как у всех планет-гигантов. Рекордсмен — Юпитер.

Определены наблюдаемые объекты, орбиты которых принадлежат каждой из выделенных областей. Наиболее полно исследована область  $\omega_J$  Юпитера. 42 кометы из области  $\omega_J$  испытали реверсии линии апсид; 58 комет — временный спутниковый захват в смысле Эверхарта; 11 комет — временный гравитационный захват в сферу Хилла. Функция йовицентрического расстояния 63 комет имела кратные минимумы.

### 3. Ямы

Для планет земной группы области орбит малых тел, которые могут дать сближения с особенностями (области  $\omega_P$ ), не пересекаются. Между ними находятся значительные промежутки (ямы). Отметим, что между Меркурием и Солнцем также имеется промежуток орбит, которые не могут дать малому телу испытать низкоскоростное сближение с планетой. Самый большой промежуток находится между областями  $\omega_P$  Марса и Юпитера. Выделены наблюдаемые малые тела, принадлежащие ямам. Сначала тела отбирались по значению большой полуоси для границ ямы. Затем отбирались объекты, у которых перигелий и афелий тоже принадлежат ямам. Заселены только ямы между Землей и Марсом и между Марсом и Юпитером.

Отметим очень большое количество объектов в яме между Марсом и Юпитером (более 11300). Явление заслуживает особого внимания по трем причинам. Во-первых, выделенные объекты находятся на почти круговых орбитах. Во-вторых, они не могут испытывать сближения с планетами. В-третьих, границы ямы (1,61–2,23 а.е.) не совпадают с границами традиционного Главного пояса астероидов (2,17–3,64 а.е.). Тем не менее, в яме Марс–Юпитер открыто свыше 11 тысяч малых тел за пределами Главного пояса. Воз-

можно, его нижнюю границу уже пора расширить.

#### 4. Пересечения

Для планет-гигантов области  $\omega_P$  пересекаются. Пересечения — это промежутки между двумя соседними планетами-гигантами, с орбитами, которые могут привести к низкоскоростному сближению с каждой из них.

Распространим определение, данное в [3] для Юпитера (с учетом областей сближения из работы [1]), на все планеты Солнечной системы. Вокруг планеты имеется сфера радиусом  $6R_H^P$ , внутри которой располагаются афелии (орбиты вида  $A$ ) или перигелии (орбиты вида  $P$ ) малого тела. Орбиту, у которой и афелий, и перигелий принадлежат области низкоскоростного сближения, назовем кругообразной ( $R$ -орбитой). Реверсию линии апсид будем называть  $A \leftrightarrow P$  переходом. Наиболее хорошо изучены сближения с Юпитером, которые приводят к реверсии линии апсид. С реверсиями линии апсид столкнулись уже первые исследователи эволюции комет: Лексель — кометы, которая теперь носит его имя [4], Дубяго [5] — кометы Брукс 2; Казимирчак-Полонская — многих комет семейства Юпитера, в том числе низкоскоростных сближений комет Герельс 3, Отерма, Ашбрук-Джексон [6]. В [7] обнаружено 86 сближений у комет семейства Юпитера с реверсией линии апсид. В настоящее время известны  $A \leftrightarrow P$  переходы комет семейства Юпитера с перебросом афелия как в окрестность Сатурна (54P, 74P, 86P, 128P), так и в окрестность Урана (31P, P/20000 I3). У кометы Лексель (D/1770 L) после сближения с Юпитером афелий расположен в окрестности Нептуна.

#### 5. Заключение

В Солнечной системе проведен анализ расположения на плоскости  $(a, e)$  областей  $\omega_P$  для всех планет. Выявлены следующие особенности в их расположении. Для планет земной группы области орбит малых тел, которые могут дать сближения с особенностями (области  $\omega_P$ ), не пересекаются. Между ними имеются значительные промежутки, установлено, что между Меркурием и Солнцем также имеется промежуток орбит, которые не могут дать малому телу испытать

сближение с планетой. Эти промежутки мы назвали ямами. Для планет-гигантов области  $\omega_P$  пересекаются. Они были названы пересечениями. Определены наблюдаемые объекты, орбиты которых принадлежат каждой из выделенных областей. Найдены малые тела, испытавшие низкоскоростные сближения с Землей, Юпитером, Сатурном. Проведено численное интегрирование уравнений движения наиболее интересных объектов на промежутке времени в 400 лет. В низкоскоростных сближениях малых тел обнаружены реверсии линии апсид, временные спутниковые захваты, кратные минимумы функции планетоцентрического расстояния. Малые тела из области пересечения Юпитер-Сатурн даже на таком незначительном промежутке времени испытывают сближения как с Юпитером, так и с Сатурном. Более того, имеются объекты, совершающие несколько переходов, уходя к внешним планетам: Урану и Нептуну.

#### 6. Основные результаты

Проведен анализ расположения областей  $\omega_P$  для планет Солнечной системы. Выделены наблюдаемые малые тела в областях  $\omega_P$ , в пересечениях областей и между ними (ямах).

#### Литература

1. Емельяненко Н. Ю. Поиск области орбит малых тел с особенностями в сближениях с планетами // Известия ГАО в Пулкове. №220. Труды Всероссийской астрометрической конференции «Пулково – 2012», Санкт-Петербург, 2013. С. 231–236.
2. Емельяненко Н. Ю. Классификация сближений малых тел по глобальному минимуму функции планетоцентрического расстояния // Известия ГАО в Пулкове, №220, Труды Всероссийской астрометрической конференции «Пулково – 2012», Санкт-Петербург, 2013. С. 225–230.
3. Емельяненко Н. Ю. Короткопериодические кометы с высоким значением постоянной Тиссерана 1. Орбитальная эволюция // Астрон. Вестн. 1997. Т. 31. № 3. С. 257–267.
4. Lexell A. I. Examen criticum observationum a celeb. Messier circa cometam anni 1770 instituarum // Asta Acad. Sci. Petropol. 1781. Vol. 2. P. 351–372.
5. Дубяго А. Д. Движение периодической кометы Брукса с 1883 по 1946 гг. // Уч. Зап. Казанск. ун-та. 1950. Т. 110. №8. С. 5–44.

6. *Казимирчак-Полонская Е. И.* Захват комет Юпитером и некоторые закономерности в вековой эволюции кометных орбит // Астрометрия и небесная механика. Проблемы исследования Вселенной. Вып. 7: сб. ст. М.-Л. : Наука, 1978. С. 340–383.
7. *Емельяненко Н. Ю.* Эволюция элементов орбит короткопериодических комет. Челябинск: Издат. центр Южно-Уральского гос. ун-та, 2009. 112 с.

Ключевые слова: низкоскоростные сближения, спутниковый захват.

---

Статья поступила 28 ноября 2013 г.

Институт астрономии РАН, г. Москва

© Емельяненко Н. Ю., 2013