

## Транснептуновые семейства комет

В.А. Козлов

Международный Центр астрономических и медико-экологических исследований

*Исследовано распределение афелиев кометных орбит по удалённости от Солнца в интервале 15–200 а.е. Обнаружено, что на расстоянии более 120 а.е. частота встречаемости афелиев кометных орбит уменьшается. Полученное распределение указывает на наличие трёх транснептуновых семейств комет на средних расстояниях 56, 86 и 106 а.е. Предполагается существование гипотетических планет Транснептун-1, Транснептун-2, Транснептун-3, порождающих эти семейства комет.*

*ТРАНСНЕПТУНОВІ СІМЕЙСТВА КОМЕТ, Козлов В.А. — Досліджено розподіл афелієв кометних орбіт за відстанню від Сонця в інтервалі 15–200 а.о. Виявлено, що на відстані більш 120 а.о. частота зустрічання афелієв кометних орбіт зменшується. Отриманий розподіл свідчить про наявність трьох транснептунових сімейств комет на середніх відстанях 56, 86 та 106 а.о. Припускається існування гіпотетичних планет Транснептун-1, Транснептун-2, Транснептун-3, які породжують ці сімейства комет.*

*TRANSNEPTUNIAN FAMILIES OF COMETS, by Kozlov V.A. — The distribution of aphelions cometary orbits in order of distance from the Sun for interval of 15–200 A.U. is investigated. We've discovered that the frequency of aphelions cometary orbits decreases at the distance greater than 120 A.U. The resulting distribution points out the existence of three transneptunian families of comets at medium distances of 56, 86, and 106 A.U. It is suggested that the existence of hypothetical planets Transneptune-1, Transneptune-2, Transneptune-3 gives rise to these families of comets.*

Известно, что на движение комет в Солнечной системе очень заметное влияние оказывают планеты-гиганты. Долгопериодические кометы при пересечении зоны планет испытывают трансформацию (изменение) орбит. Как следует из работы [3] и последующих, наиболее чувствительным к влиянию возмущающих факторов параметром кометной орбиты оказывается её большая полуось  $a$ , определяемая в общем виде (эллиптические, почти параболические, гиперболические орбиты), как

$$a = \frac{q}{1-e}, \quad (1)$$

где  $q$  — перигелийное расстояние орбиты кометы, а  $e$  — её эксцентриситет. В случае эллиптической орбиты большую полуось можно выразить в виде:

$$a = \frac{Q+q}{2}, \quad (2)$$

где  $Q$  — афелийное расстояние орбиты кометы. Вследствие планетных возмущений большие полуоси кометных орбит в зависимости от условий сближения с возмущающей планетой могут, как уменьшаться, так и увеличиваться. Соответственно изменяется и их эксцентриситет. В той же работе убедительно показано, что для комет, орбиты которых известны с достаточной точностью, случаи с  $e > 1$  являются результатом возмущающего действия планет. В дальнейшем здесь нас будет интересовать лишь такая трансформация кометной орбиты, при которой её большая полуось сокращается.

Из формулы (2) очевидно, что для типичных наблюдаемых долгопериодических комет с  $Q \gg q$  изменение величины  $a$  почти всецело определяется изменением величины  $Q$ , нижняя граница которой есть то расстояние от Солнца, на котором у кометы происходит тесное сближение с планетой:

$$Q \approx a_{\text{пл}}, \quad (3)$$

где  $a_{\text{пл}}$  — большая полуось орбиты планеты. Это предельный случай трансформации кометной орбиты по параметру  $Q$ , когда комета ещё остаётся на гелиоцентрической орбите (ещё более тесное сближение с планетой приводит к захвату кометы на планетоцентрическую орбиту — пример кометы Shoemaker–Levi 9). Таким образом, планета формирует семейство комет, афелийные расстояния которых группируются вблизи значения большой полуоси её орбиты в соответствии с условием (3).

Тот факт, что в Солнечной системе каждая из четырёх планет-гигантов имеет собственное семейство комет, позволяет рассматривать последние в качестве индикаторов массивных небесных тел и использовать орбитальные параметры комет для поиска неизвестных планет, присутствие которых за орбитой Нептуна, если они есть, должно проявляться в существовании транснептуновых семейств комет. (Учитывая статус Плутона, как карликовой планеты, мы, следуя решению МАС, принятому 24 августа 2006 года, считаем Нептун последней из известных планет Солнечной системы.)

Идея использовать семейства комет для предсказания неизвестных планет не нова — её высказывали ещё в XIX веке. Хороший обзор по данной проблематике содержится в работе [1]. Эта идея сводится к построению распределения афелиев кометных орбит по расстоянию от Солнца: на том расстоянии, где частота встречаемости кометных афелиев повышена (признак семейства комет), можно ожидать нахождения неизвестной планеты с большой полуосью

$$a_{\text{пл.}} \approx Q_{\text{ср.}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{ср.}}$  — среднее значение афелийных расстояний комет данного семейства.

На рис. 1 приведено распределение по афелийным расстояниям всех 536 комет, известных к середине 2008 года, афелии оскулирующих орбит которых находятся на расстоянии до 360 а.е. от Солнца. Гистограмма с шагом 15 а.е. имеет очень высокий первый столбик за счёт комет семейств Юпитера и Сатурна (365 афелиев). Второй и третий столбики включают семейства Урана и Нептуна. Явный избыток кометных афелиев заметен также на 75–90 а.е. (16 афелиев) и на 105–120 а.е. (15 афелиев). На ещё больших расстояниях частота их встречаемости уже нигде не превышает 8 афелиев на 15 а.е.

Исследовать распределение более детально с помощью гистограммы трудно, так как уменьшение её шага влечёт падение статистической достоверности по интервалам. Для уверенной и однозначной идентификации кометных семейств автором был использован точечный график зависимости афелийного расстояния кометных орбит от номера афелия в порядке его удалённости от Солнца:  $Q = f(N)$ . В этом случае семейства комет должны проявляться в виде платообразных участков графика.

На рис. 2 представлено распределение кометных афелиев в интервале от 15 до 50 а.е., включающем орбитальные зоны Урана и Нептуна и область классических объектов пояса Эджворта–Койпера. Семейства комет Урана и Нептуна хорошо заметны в виде двух больших и относительно пологих участков, разделённых более крутым подъёмом графика от 22 до 28 а.е. Обращает на себя внимание бедность кометными афелиями наиболее «густонаселённой» части пояса Эджворта–Койпера, что делает гипотезу о нём, как об основном источнике короткопериодических комет в Солнечной системе, малопривлекательной. В то же время отсутствие семейства комет, как признака наличия планеты, на расстояниях от 40 до 50 а.е. представляется вполне закономерным, поскольку такая планета, находясь она там, расчистила бы свою орбитальную зону, и пояса Эджворта–Койпера в его нынешнем виде просто не существовало бы.

Тестирование метода точечного графика на участке, где все массивные планеты известны, наглядно демонстрирует его преимущества — заметны недостижимые для гистограммы детали, чётко фиксируются границы кометных семейств: 16,5–22,1 а.е. для Урана и 28,7–37,5 а.е. для Нептуна. Это находится в хорошем согласии со значениями больших полуосей орбит этих планет (19,2 а.е. и 30,1 а.е. соответственно). Вытянутость кометного семейства Нептуна в сторону больших значений  $Q$  может говорить о том, что в ближайшей области за орбитой Нептуна отсутствует какая-либо массивная планета, что вполне подтверждено наблюдениями. С внутренней же стороны гравитационное влияние Урана не позволяет кометному семейству Нептуна простираться в область меньших значений  $Q$ .

Рассмотрим теперь распределение кометных афелиев на расстояниях от 50 до 200 а.е. (рис. 3). Сразу же бросаются в глаза несколько «плато». Гипотетические планеты, ответственные за их воз-

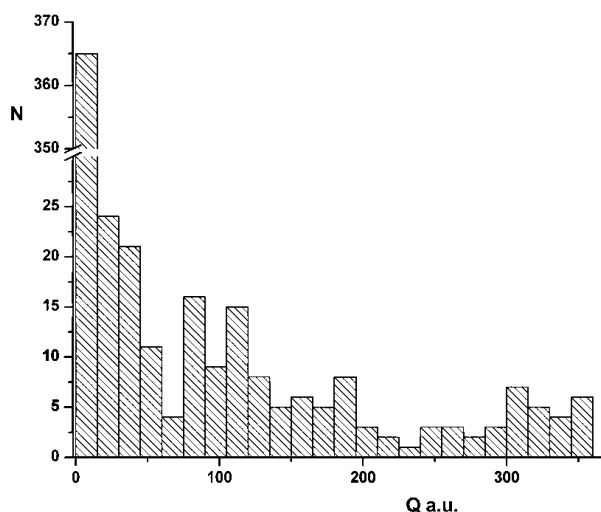


Рис. 1. Распределение афелийных расстояний кометных орбит в радиусе 360 а.е. от Солнца

Таблица 1

Планета	Большая полуось орбиты (а.е.)	Границы кометного семейства, расстояния от Солнца (а.е.)	Богатство семейства (количество членов)	Масса планеты (в массах Земли)
Уран	19,2	16,5–22,1	15	14,5
Нептун	30,1	28,7–37,5	22	17,1
Транснептун-1	56	51,2–58,7	7	1–5
Транснептун-2	86	79,2–89,8	15	10–20
Транснептун-3	106	97,2–118,1	24	20–50

никновение, будем называть Транснептуны (сокращенно Т) с соответствующим порядковым номером. Первое семейство комет в виде небольшого, но очень отчётливого «плато» находится на отметке 56 а.е. Это семейство планеты Т-1. Затем, после крутого взлёта, наблюдается обширный пологий участок со средним значением по кометным афелиям 86 а.е. Характеристики предполагаемой планеты (Т-2 по нашей классификации), порождающей это семейство комет, можно найти в работе [4]. Третье транснептуновое семейство комет, занимающее область 100–120 а.е., имеет среднее значение по афелийным расстояниям 106 а.е. (планета Т-3). Далее график в целом идёт круче вверх, испытывая излом в точке около 119 а.е., что говорит об общем падении частоты встречаемости кометных афелиев и отсутствии более далёких семейств комет.

Интересная деталь распределения заключается в полном отсутствии афелиев кометных орбит в интервале 90–97 а.е., что резко контрастирует с находящимися рядом вторым и третьим транснептуновыми семействами комет. Наличие этого «пробела девяностых» является сильным аргументом в пользу существования двух массивных планет (Т-2 и Т-3) в данном районе, поскольку область между их орбитами не может быть устойчивой для кометных афелиев. Что касается гипотетической планеты Т-1, то независимым свидетельством её существования можно считать дефицит объектов пояса Эджворта–Койпера в резонансе 1 : 2 с Нептуном на расстоянии 47,7 а.е. и резкую внешнюю границу этого пояса примерно на том же расстоянии [2].

Данные о трёх транснептуновых семействах комет и порождающих их предполагаемых планетах приведены в таблице 1. Там же содержится оценочное значение масс этих планет, основанное на количестве членов (богатстве) их кометных семейств. Таблица включает также Уран и Нептун с их семействами комет.

**Выводы:**

1. В распределении афелиев кометных орбит по расстоянию от Солнца обнаруживаются три транснептуновые семейства комет. Эти семейства могут порождаться гипотетическими планетами с большими полуосями орбит 56, 86 и 106 а.е., названными нами Транснептун-1, Транснептун-2 и Транснептун-3 (сокращённо Т-1, Т-2, Т-3) соответственно.

2. Контрастный пробел в распределении кометных афелиев между значениями 90 и 97 а.е. также является серьёзным аргументом в пользу существования планет Т-2 и Т-3.

3. На расстояниях более 120 а.е. семейства комет отсутствуют. Таким образом, на основе кометных семейств можно впервые сделать вывод о внешней границе планетной системы Солнца.

1. Уайт А. Планета Плутон. — М.: Мир, 1983. — 127 с.

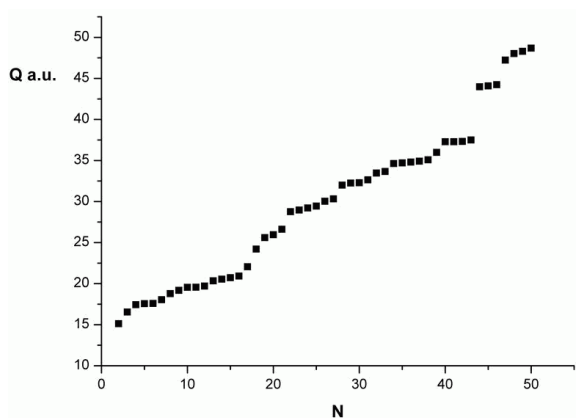


Рис. 2. Распределение афелиев кометных орбит на расстояниях от 15 до 50 а.е.

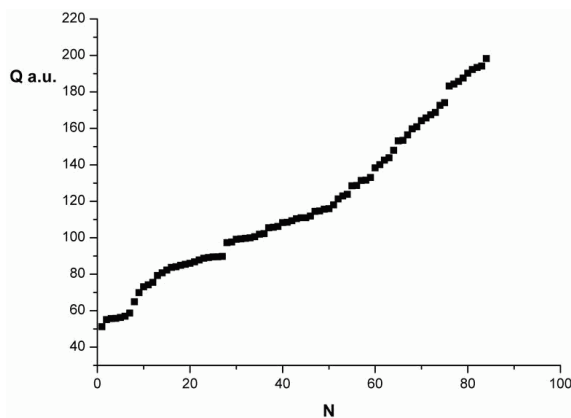


Рис. 3. Распределение афелиев кометных орбит на расстояниях от 50 до 200 а.е.

2. *Brunini A., Melita M.D.* The existence of a planet beyond 50 AU and the orbital distribution of the classical Edgeworth-Kuiper Belt objects // *Icarus*. — 2002. — **160**, № 1. — P. 32–43.
3. *Marsden B.G., Sekanina Z., Everhart E.* New osculating orbits for 110 comets and analysis of original orbits for 200 comets. // *Astron.J.* — 1978. — **83**, № 1. — P. 64–71.
4. *Neuhäuser R., Feitzinger J.V.* Mass and orbit estimation of Planet X via a family of comets. // *Earth, Moon, and Planets*. — 1991. — **54**, №3. — P. 193–202.

Поступила в редакцию 18.10.2009