

УДК 523.64

О. А. Горшкова, В. В. Кузьмичев

Вологодский государственный педагогический университет
160035 Россия, Вологда, ул. Сергея Орлова 6

Космогонические закономерности в комплексе короткопериодических комет

Выполнен статистический анализ параметров 250 короткопериодических комет (период $P < 200$ лет). Изучены распределения орбит по значениям большой полуоси, эксцентриситета, перигелийного и афелийного расстояний, гелиоцентрического расстояния узлов, аргумента перигелия, наклона, среднего суточного движения. Предлагается классификация комет по значению среднего суточного движения n . Показано, что семейство Юпитера ($N = 136$ комет) локализовано люками при $n = 598.2''$ и $358.9''$ (соизмеримость с Юпитером $1/2$ и $5/6$ соответственно). Среднестатистические значения характеристик кометных орбит с $n < 120.5''$ (соизмеримость с Сатурном $1/1$) близки к соответствующим значениям для почти параболических комет ($P > 200$ лет).

КОСМОГОНІЧІ ЗАКОНОМІРНОСТІ В КОМПЛЕКСІ КОРОТКОПЕРІОДИЧНИХ КОМЕТ, Горшкова О. А., Кузьмичов В. В. — Виконано статистичний аналіз параметрів 250 короткоперіодичних комет (період $P < 200$ років). Вивчено розподіли орбіт за значеннями великої півосі, ексцентриситету, перигелійної і афелійної відстаней, геліоцентричної відстані вузлів, аргументу перигелію, нахилу, середнього добового руху. Пропонується класифікація комет за значенням середнього добового руху n . Показано, що сімейство Юпітера ($N = 136$ комет) локалізоване люками при $n = 598.2''$ та $358.9''$ (сумірність з Юпітером $1/2$ та $5/6$ відповідно). Середньостатистичні значення характеристик кометних орбіт з $n < 120.5''$ (сумірність із Сатурном $1/1$) близькі до відповідних значень для майже параболических комет ($P > 200$ років).

COSMOGONIC REGULARITIES IN THE COMPLEX OF SHORT-PERIOD COMETS, by Gorshkova O. A., Kuzmichev V. V. — A statistical analysis of short-period comet complex ($N = 250$ objects, period $P < 200$ years) is carried out. Orbits distributions according to the major semiaxis value, eccentricity, perihelion and aphelion distances, heliocentric nodes distance, perihelion argument, inclination, mean motion n are given. A classification of comets according to mean motion n values is suggested. It is shown that Jupiter-family ($N = 136$ comets) is localized by depression with $n = 598.2''$ (commensurability

with Jupiter is 1/2) and $n = 358.9''$ (commensurability with Jupiter is 5/6). Average statistical characteristics of the cometary orbits with $n < 120.5''$ (commensurability with Saturn is 1/1) are close to the corresponding parameters of near-parabolic comets ($P > 200$ years).

Короткопериодическими кометами (КПК) принято называть кометы с периодом обращения $P < 200$ лет. По данным Марсдена [25] к концу 2001 г. наблюдалось $N = 250$ КПК. В каталоге Марсдена приведены следующие элементы кометных орбит: момент T прохождения через перигелий, наклон i к эклиптике, долгота Ω восходящего узла, аргумент перигелия ω , перигелийное расстояние q , эксцентриситет e . Мы вычислили и дополнительно включили в каталог следующие параметры: эклиптические координаты перигелия λ_π, β_π ; эклиптические координаты λ_Π, β_Π полюса орбиты; гелиоцентрические расстояния R_A, R_D восходящего и нисходящего узла; среднее суточное движение n , постоянную Тиссерана S . Использовались кометы только в их первых появлениях.

Анализ данных кометных каталогов обычно применяется для проверки гипотез о происхождении комет [2, 4, 5—7, 15, 20, 22, 26, 24]. В связи с открытием новых комет и расширением наблюдательной основы кометной космогонии целесообразно периодически повторять статистические исследования кометной системы на более обширном материале. В работе В. В. Кузьмичева [9] для системы почти параболических комет (ППК) с периодом $P > 200$ лет выявлены основные закономерности в комплексе ППК, сформулированы вопросы для тестирования космогонических гипотез. Ниже подобный анализ будет выполнен для комплекса КПК.

В табл. 1 и 2 приведено распределение КПК по значениям большой полуоси a и эксцентриситета e . У 125 комет значение a заключено в пределах от 3 до 4 а. е. Минимальное значение $a_{\min} = 2.2$ а. е. имеет комета 2P/1786 В1 Энке, $a_{\max} = 32.7$ а. е. — комета C/1937 D1 Вилк.

Максимум распределения КПК по эксцентриситету приходится на значение $e = 0.58$. Минимальное значение эксцентриситета ($e = 0.135104$) имеет орбита кометы P/1999 DN3 (Корлевич — Юрич), а максимальное значение ($e = 0.993121$) принадлежит комете C/1917 F1 Меллиш.

Распределение КПК по перигелийному расстоянию q (рис. 1) близко к максвелловскому. Максимальное перигелийное расстояние имелось у кометы C/2001 T4 NEAT ($q = 8.57$ а. е.), минимальное — у кометы 96P/1986 J2 Мачхолц 1 ($q = 0.127$ а. е.). Максимум кометных перигелиев наблюдается на гелиоцентрических расстояниях (1.3—1.5 а. е.). В работах [8, 12] показано, что наблюдаемое распределение перигелиев совпадает с истинным и не зависит от наблюдательной селекции. Известно, что перигелии ППК концентрируются к орбитам планет земной группы [20]. В распределении перигелиев КПК нет сгущений к орбитам больших планет.

Таблица 1. Распределение количества КПК по большой полуоси орбит

a, а. е.	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—16	16—24	24—32
N	5	125	42	18	20	6	13	13	8

Таблица 2. Распределение орбит КПК по эксцентриситету

e	0.1—0.2	0.2—0.3	0.3—0.4	0.4—0.5	0.5—0.6	0.6—0.7	0.7—0.8	0.8—0.9	0.9—1.0
N	10	13	28	31	66	44	21	15	22

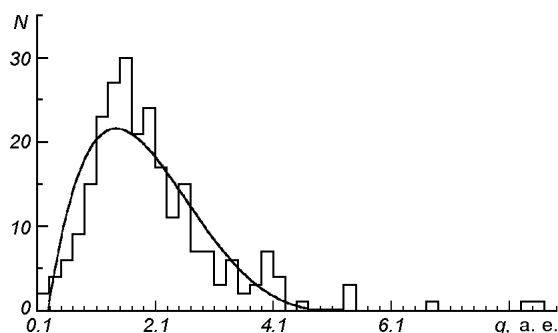


Рис. 1. Распределение количества N КПК по перигелийному расстоянию q

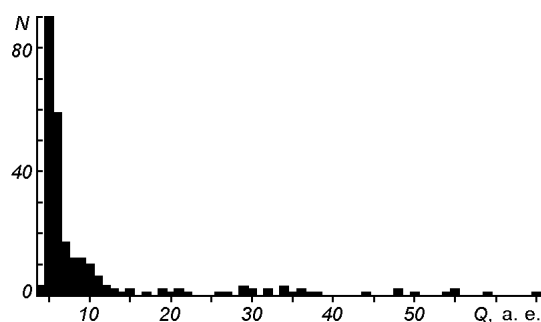


Рис. 2. Распределение количества N КПК по величине афелийного расстояния Q

Афелии КПК лежат в большом диапазоне гелиоцентрических расстояний: минимальную величину $Q = 3.68$ а. е. имеет комета 133P/1979 OW7 (Эльст — Пизарро), максимальное значение $Q = 64.87$ а. е. принадлежит комете C/1937 D1 (Вилк). Как видно из рис. 2, афелии резко концентрируются к орбите Юпитера. На интервале от $Q_1 = 4.5$ до $Q_2 = 6.5$ а. е. находится $N = 149$ афелиев или 59.6 % от всех афелиев КПК. Плотность афелиев на этом интервале составляет $\sigma = N/\pi(Q_2^2 - Q_1^2) = 2.16$ (а. е.)⁻¹. Около орбиты Сатурна в интервале от 8.5 до 10.5 а. е. плотность афелиев резко уменьшается и составляет 0.18 (а. е.)⁻¹. На расстояниях более 15 а. е. плотность стремится к нулю, и на каждом интервале $\Delta Q = 1$ а. е. располагается всего лишь по 1-2 афелия. За пределами планетной системы ($R > 40$ а. е. — пояс Койпера) находится только девять афелиев. Итак, в распределении афелиев КПК видна исключительно высокая концентрация к орбите Юпитера. По признаку близости кометного афелия к орбите планеты обычно комплектуются соответствующие кометные семейства [6]. К семейству Юпитера можно отнести 172 КПК с $Q = 5.2 \pm 1.2$ а. е. Реальность существования семейства Сатурна подвергалось сомнению [18]. Вряд ли динамически связаны с Ураном семь комет с афелиями в интервале 15.5 а. е. $< Q < 25.5$ а. е. (рис. 2). Отсутствие значимых сгущений афелиев к орбитам Сатурна, Урана и Нептуна не дает основания для объединения комет в семейства данных планет.

Распределение комет по средним движениям или, что эквивалентно, по большим полуосям орбит характеризуется ярко выраженной неравномерностью (рис. 3). Как показывает гистограмма, интервалы среднего движения, в которых концентрируется значительное число комет, чередуются с интервалами разрежения или даже полного отсутствия комет. Аналогичные интервалы разрежения с наиболее глубокими локальными минимумами распределения для астероидов принято называть люками Кирквуда. Связь между люками и возмущающим влиянием притяжения планет, прежде всего Юпитера, вытекает из того факта, что люки локализируются вблизи значений

Рис. 3. Распределение количества N КПК по десятисекундным интервалам среднего суточного движения n (сд/сут — секунды дуги за сутки)

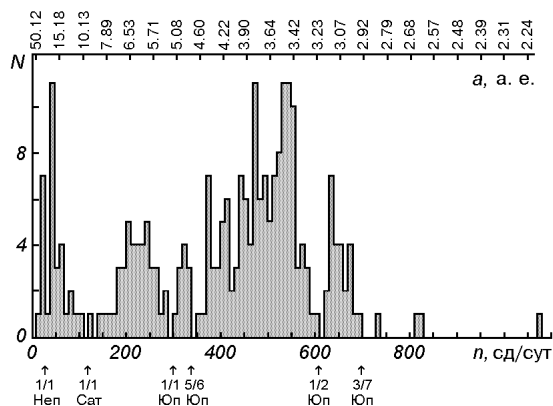


Таблица 3. Группирование комет по среднему суточному движению

Группа	n , сд/сут	N	\bar{Q} , а. е.	$\bar{\Gamma}$	\bar{H}_{10}	\bar{R} , а. е.	\bar{C}
I	10—130	33	35.31	58.20°	5.87 ^m	12.67	1.08
II	140—290	41	10.09	18.88	5.66	8.20	2.44
III	300—340	11	7.76	10.52	7.73	5.90	2.58
IV	350—610	136	5.60	11.67	7.36	4.75	2.81
V	620—700	25	5.03	13.70	9.71	4.03	2.80
VI	730—1080	4	4.57	6.97	10.4	3.85	2.91

среднего движения, которые соизмеримы со средним движением возмущающей планеты. Среднее движение кометы n называется соизмеримым со средним движением планеты n_1 , если

$$\frac{n}{n_1} = \frac{p}{q}, \quad (1)$$

где p и q — взаимно простые числа. При выполнении условия (1) определенные конфигурации кометы и планеты повторяются через каждые q оборотов кометы и p оборотов планеты. Условие (1) называется также резонансным, а соответствующие орбиты — резонансными.

На рис. 3 значения среднего движения, соответствующие главным соизмеримостям с Юпитером, Сатурном и Нептуном, отмечены стрелками. Наиболее заметные люки вблизи значений $n = 299.1$, 358.9 , 598.2 и $697.9''$ соответствуют соизмеримостям $1/1$, $5/6$, $1/2$, $3/7$ со средним движением Юпитера ($n_1 = 299.1''$). Видны люки вблизи соизмеримостей $1/1$ с Нептуном и Сатурном. Люки естественным образом подразделяют КПК на шесть групп (см. также табл. 3). Возможная связь каждой группы комет с планетами будет обсуждаться ниже.

Пространственную ориентацию плоскостей кометных орбит определяют два угла: наклон к эклиптике i и долгота восходящего узла Ω . Для распределения по долготе восходящего узла характерны обычные флуктуации относительно среднего уровня. На рис. 4 дано распределение КПК по i . Абсолютное большинство КПК обладают прямыми движениями: наклон $i < 30^\circ$ имеют 218 орбит (87.2%). Восемь комет ретроградные: 1P/-239 K1 ($i = 162.2^\circ$), 55P/1366 U1 ($i = 162.2^\circ$), 109P/-68 Q1 ($i = 113.9^\circ$), C/1827 M1 ($i = 136.5^\circ$), C/1998 G1 ($i = 109.7^\circ$), C/2000 D2 ($i = 157.0^\circ$), C/2000 G2 ($i = 170.5^\circ$), P/1983 V1 ($i = 95.7^\circ$).

Пространственную ориентацию плоскостей кометных орбит удобно изучать по положению их полюсов. Рассматривая полюса кометных орбит

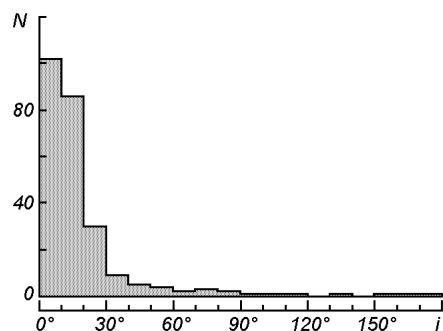


Рис. 4. Распределение количества N КПК по углу наклона i

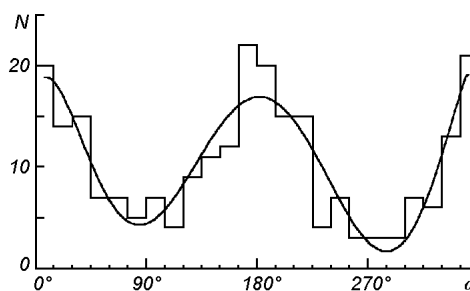


Рис. 5. Распределение количества N КПК по аргументу перигелия ω

как материальные точки, расположенные на сфере единичного радиуса, можно по методу Натансона [10] найти координаты L, B их центра инерции [9]. Точка с эклиптическими координатами L, B есть полюс плоскости, которая представляет собой некое «средневзвешенное» всех плоскостей кометных орбит или, другими словами, плоскость, к которой концентрируются плоскости кометных орбит. В гипотезах захвата [21] и извержения [6] считается, что именно данная плоскость близка к плоскости орбиты материнской планеты. В данном случае мы получили плоскость $i = 4.6^\circ$, $\Omega = 219.7^\circ$, которая весьма близка к эклиптике. Таким образом, на основании вывода о концентрации плоскостей кометных орбит к указанной плоскости можно предполагать, что источник КПК может находиться в плоскости эклиптики.

Ориентация эллипса в плоскости движения кометы определяется величиной углового расстояния перигелия от восходящего узла ω . Распределение комет по величине ω (рис. 5) показывает два максимума: при $\omega = 0^\circ$ и 180° . Угол между линией узлов и линией аписид составляет менее 45° у 184 (74 %) комет. Это означает, что большинство перигелиев (афелиев) расположены недалеко от узлов.

Если верна гипотеза о наличии источника комет в плоскости эклиптики, то узел кометной орбиты можно рассматривать как место старта кометы на гелиоцентрическую орбиту. Таким образом, в данной постановке проблемы один из узлов кометной орбиты представляет собой место «рождения» кометы. В. В. Радзиевский называл этот узел «рабочим». На рис. 6 сплошной линией представлена гистограмма распределения узлов по гелиоцентрическому расстоянию R . На гистограмме четко выделяются две зоны концентрации узлов: $1.0 \text{ а. е.} < R < 2.5 \text{ а. е.}$ и $4.0 \text{ а. е.} < R < 6.0 \text{ а. е.}$. Из сопоставления рис. 6 с рис. 1 и 2 легко видеть, что перигелии лежат в первой зоне, афелии — во второй.

Во вторую зону входят 136 комет группы IV (табл. 3). У этих комет и афелии, и узлы расположены около орбиты Юпитера. В данном случае тот узел, который ближе к афелию, будем называть рабочим. Видимо, кометы группы IV динамически связаны с Юпитером. Для проверки этого предположения можно использовать критерий Радзиевского — Тиссерана [14, 19]:

$$A = \left[\frac{2\sqrt{q_1(1+e_1)}\cos i_1 - 2\sqrt{q_2(1+e_2)}\cos i_2}{a_2^{-1} - a_1^{-1}} \right]^{2/3}, \quad (2)$$

где A — радиус орбиты возмущающей (родительской) планеты; q, e, i, a —

Рис. 6. Распределение количества N КПК по гелиоцентрическим расстояниям R узлов

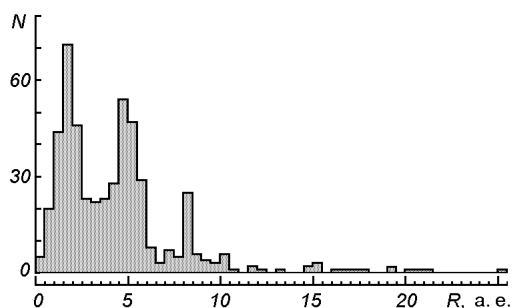


Таблица 4. Распределение комет по средневзвешенному радиусу A орбит родительских планет

A , а. е.	4.1—4.5	4.5—4.9	4.9—5.3	5.3—5.7	5.7—6.1	6.1—6.5
N	6	24	37	29	6	3

элементы кометной орбиты в двух появлениях. При вычислениях по формуле (2) мы использовали значения элементов кометной орбиты лишь для первого и второго появления. Результаты подсчетов приведены в табл. 4, где N — число комет, испытавших возмущения от планеты, имеющей соответствующее значение радиуса A орбиты. В. В. Радзиевский [14] указывал, что величина A , найденная по формуле (2), будет средневзвешенным значением для всех планет, оказавших возмущающее влияние на комету. Как видно из табл. 4, доминирующая роль в воздействии на кометные орбиты принадлежит Юпитеру.

Проведем теперь сравнительный анализ шести групп комет (табл. 3). Напомним, что деление комплекса КПК на группы естественным образом осуществляют люки в распределении комет по среднему суточному движению (рис. 3). В табл. 3 даны: численность N комет каждой группы, средние значения афелийного расстояния \bar{Q} , наклона \bar{i} , абсолютной звездной величины H_{10} , гелиоцентрического расстояния \bar{R} , узлов, расположенных в районе афелиев; перигелийного расстояния \bar{q} , постоянной Тиссерана \bar{C} . В табл. 5 для каждой группы комет приведены количества перигелиев N_q , узлов N_N и афелиев N_Q для разных гелиоцентрических расстояний.

Наиболее многочисленной ($N = 136$) является IV группа ($350'' < n < 610''$). Среднее значение их афелийного расстояния равно $\bar{Q} = 5.6$ а. е. (табл. 3.). На гелиоцентрических расстояниях от 4 до 6 а. е. расположены 101 узел и 102 афелия (табл. 5). Кометы с такими орбитами традиционно называют семейством Юпитера, поскольку, видимо, Юпитер сформировал эти орбиты. Особенностью данных орбит является концентрация перигелиев и узлов на гелиоцентрических расстояниях от 1 до 3 а. е. ($N_q = 115$, $N_N = 124$, табл. 5). На середине этого интервала расположена орбита Марса, но Марс вряд ли мог вызвать указанное скопление перигелиев и узлов в связи с его малой массой.

Кометы группы V, по-видимому, являются мигрантами из IV группы, их узлы и афелии сместились в направлении к Солнцу (табл. 3 и 5). Процесс накопления возмущений в элементах орбит мог быть весьма продолжительным. При этом с неизбежностью происходит дезинтеграция кометных ядер и, как следствие, уменьшение блеска комет. Действительно, для комет V группы среднее значение абсолютной звездной величины $H_{10} = 9.71^m$, что на 2.35^m больше, чем у комет IV группы.

Таблица 5. Классификация КПК по среднему суточному движению

q, N, Q, a. e.	I			II			III			IV			V			VI		
	N _q	N _N	N _Q	N _q	N _N	N _Q	N _q	N _N	N _Q	N _q	N _N	N _Q	N _q	N _N	N _Q	N _q	N _N	N _Q
0—1	13	11	—	—	—	—	—	—	—	6	3	—	8	8	—	3	3	—
1—2	9	12	—	13	13	—	6	5	—	76	68	—	16	15	—	1	2	—
2—3	5	5	—	16	15	—	3	4	—	39	56	—	1	8	—	—	—	—
3—4	1	3	—	3	4	—	1	2	—	15	32	—	—	4	1	—	—	—
4—5	1	5	—	7	8	—	1	3	—	—	51	25	—	12	12	—	3	4
5—6	1	2	—	2	7	—	—	4	—	—	60	77	—	3	12	—	—	—
6—7	1	1	—	—	6	—	—	2	2	—	2	30	—	—	—	—	—	—
7—8	—	4	—	—	7	5	—	1	5	—	—	4	—	—	—	—	—	—
8—9	2	2	—	—	9	7	—	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9—10	—	2	—	—	5	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10—11	—	2	—	—	5	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11—12	—	—	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12—14	—	2	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14—16	—	4	—	—	1	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16—18	—	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18—20	—	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20—22	—	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22—65	—	2	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Кометы VI группы еще более слабые — $\overline{H}_{10} = 10.4^m$, а их афелии лежат глубоко внутри орбиты Юпитера. В VI группу входят всего лишь четыре кометы: 2P/1786 В1 Энке, 107P/1949 W1 Вильсон — Харрингтон, D/1766 G1 Хельфенцридер, 26P/1808 С1 Григг — Скъеллеруп. Перигелий кометы 107P/1949 W1 лежит почти точно на орбите Земли ($q = 1.004$ а. е.), перигелий кометы 26P/1808 С1 близок к Венере ($q = 0.732$ а. е.), вблизи орбиты Меркурия расположен перигелий кометы 2P/1786 В1 ($q = 0.346$ а. е.) и перигелий кометы D/1766 G1 ($q = 0.406$ а. е.).

Малочисленная ($N = 11$) группа III отделена от комет семейства Юпитера люком ($n = 358.9''$, резонанс с Юпитером 5/6). Перигелии комет III группы располагаются на гелиоцентрических расстояниях 1—3 а. е., афелии — на расстояниях 6—8 а. е. Кометы III группы более слабые по блеску ($\overline{H}_{10} = 7.73^m$), чем кометы IV группы, орбиты имеют более пологий наклон к эклиптике ($\overline{i} = 10.52^\circ$). Эти данные позволяют высказать предположение, что в III группу кометы ($N = 11$) перешли из IV группы. Итак, мы допускаем, что кометы групп III, V, VI «отпочковались» от семейства Юпитера.

Кометы II группы ограничены люками (рис. 3) $n = 120.5''$ (соизмеримость 1/1 со средним движением Сатурна) и $n = 299.1''$ (соизмеримость 1/1 со средним движением Юпитера). Афелии и узлы имеют некоторое сгущение к орбите Сатурна (табл. 3, 5). Однако применение критерия Радзиевского — Тиссерана к шести кометам, наблюдавшимся в двух появлениях, показало, что средний радиус орбиты родительской планеты равен $A = 5.20$ а. е. Видимо, и Сатурн, и Юпитер оказывали определенное влияние на орбиты комет группы II. Кометы этой группы самые яркие ($\overline{H}_{10} = 5.66^m$) из всего комплекса КПК, они ярче почти параболических комет (ППК, $P > 200$ лет), для которых медианная абсолютная звездная величина составляет 7^m [3]. У комет группы II увеличивается средний наклон к эклиптике ($\overline{i} = 18.88^\circ$).

Кометы I группы имеют еще более крутые наклоны к эклиптике ($\bar{i} = 58.2^\circ$). Увеличивается сходство их статистических характеристик и ППК: перигелии концентрируются в зоне планет земной группы (табл. 5), нет группирования афелиев к орбитам планет. Характерной особенностью ППК является концентрация их перигелиев к солнечному апексу ($\lambda_A = 270^\circ$, $\beta_A = 53.5^\circ$). Используя метод Натансона в применении к перигелиям, легко получить, что перигелии 74 комет (группы I и II) концентрируются к точке $\lambda = 260.6^\circ$, $\beta = 11.7^\circ$, долгота которой близка к долготе апекса Солнца, а широта смещена к эклиптике. Если использовать кометы с периодом от 200 до 500 лет ($N = 29$), то найдем точку концентрации перигелиев с координатами $\lambda = 254.2^\circ$, $\beta = 37.3^\circ$. В работе [2] получено, что перигелии ППК ($N = 754$) концентрируются к точке $\lambda = 260.2^\circ$, $\beta = 57.5^\circ$. Таким образом, видна тенденция к увеличению широты точки концентрации перигелиев с увеличением периода обращения комет ($\beta \rightarrow \beta_A$), долгота сохраняется около долготы солнечного апекса ($\lambda \approx \lambda_A$). На основании вышеизложенного можно предположить, что кометы групп I и II являются некой промежуточной подгруппой, где происходит плавный переход от почти параболических к короткопериодическим кометам.

Имеет место плавный переход значений постоянной Тиссерана C для КПК к значениям C для ППК [13]. В работе [1] показано, что для системы ППК наблюдается хорошо выраженный максимум около $C = 0$ и резкое уменьшение к значениям $C = \pm 3$.

Для всех КПК мы вычислили постоянную Тиссерана

$$C = \frac{A}{a} + 2\sqrt{\frac{q(1+e)}{A}} \cos(i). \quad (3)$$

В данном случае предполагается, что для всех комет «родительской» планетой был Юпитер ($A = 5.2028$ а. е.). Значения C , рассчитанные по формуле (3), представлены на диаграмме $C - n$ (рис. 7) и в табл. 3. Значения постоянной Тиссерана для IV группы расположены компактно около значения $\bar{C} = 2.81$. В группе II намечается «перемещение» комет в направлении меньших C , а в группе I появляются кометы с отрицательными значениями постоянной Тиссерана. Отмеченная динамика изменения C возможно является следствием различных условий происхождения КПК и ППК. В. В. Радзиевский [11], исследуя следствия, вытекающие из критерия Тиссерана, показал, что миграция комет идет в направлении из поля почти параболических в семейство короткопериодических.

Приведенные выше результаты статистического анализа комплекса короткопериодических комет могут служить наблюдательной основой для проверки гипотез о происхождении комет. Наибольший интерес представля-

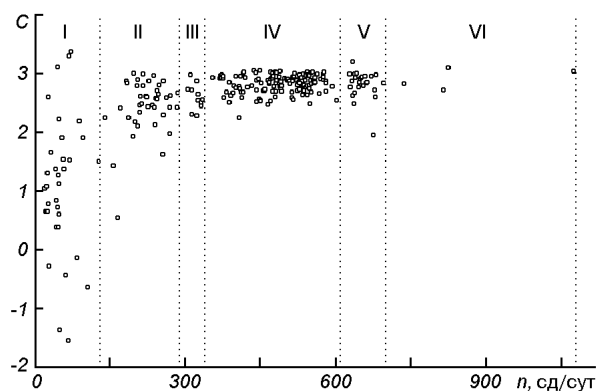


Рис. 7. Зависимость постоянной Тиссерана C от среднего суточного движения n

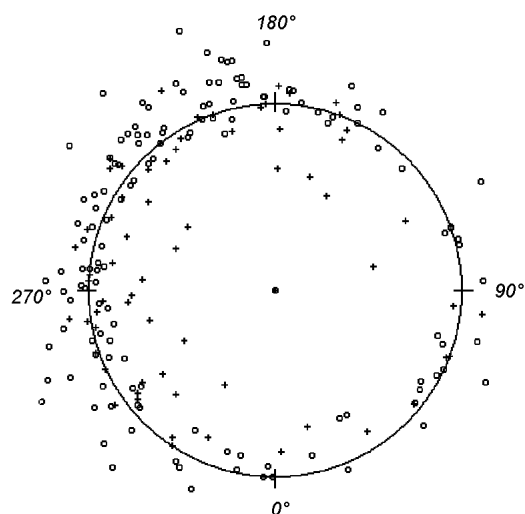


Рис. 8. Расположение афелиев (кружки) и нисходящих узлов (крестики) кометных орбит к орбите Юпитера (окружность)

ет группа ($N = 136$) комет, выделенная люками в распределении КПК по среднему суточному движению при $n = 358.9''$ и $n = 598.2''$.

На рис. 8 показаны орбита Юпитера и проекции афелиев на плоскость эклиптики (кружки). Видно, что афелии концентрируются к орбите Юпитера преимущественно на долготах $135^\circ < \lambda < 315^\circ$. На данном интервале сосредоточено 104 афелия, на интервале $315^\circ < \lambda < 135^\circ$ расположено только 32 афелия. Феномен исключительно высокой концентрации афелиев на одной половине орбиты Юпитера может быть интерпретирован в рамках теории захвата комет (Эверхарт [23], Томанов [16, 17]). Для захвата долгопериодической кометы на короткопериодическую орбиту с прямым движением необходимо, чтобы догоняющая Юпитер комета вошла в сферу действия планеты на гелиоцентрическом расстоянии, большем, чем расстояние планеты от Солнца. При этом кометное ядро выходит на короткопериодическую орбиту в районе афелия, а рабочий узел находится недалеко от афелия.

В зоне повышенной концентрации афелиев и узлов кометных орбит расположен афелий орбиты Юпитера ($\lambda = 194^\circ$). В афелии радиус сферы действия планеты на 10 % больше, чем на перигелийном участке. В афелии скорость планеты минимальна, а это значит, что увеличивается вероятность сближений с планетой догоняющих Юпитер долгопериодических комет. Согласно работе [23] эффективность захвата будет максимальна, если долгопериодическая комета в эпоху сближения с Юпитером находится вблизи своего перигелия. Но, как отмечалось выше, перигелии долгопериодических комет концентрируются около долгот $250\text{--}260^\circ$. Итак, названные факторы могут в совокупности обеспечить повышенную частоту сближения комет с Юпитером на значительном отрезке его орбиты [15]. В действительности более 43 % исследованных сближений реальных комет с Юпитером проходило на долготах $194 \pm 45^\circ$ [17].

На долготах от 135 до 315° расположено 98 узлов, в интервале $315^\circ < \lambda < 135^\circ$ — 38 узлов. На рис. 8 крестиками обозначены нисходящие узлы. На долготах от 150 до 330° имеется 56 нисходящих узлов (82.4 %), на долготах $330^\circ < \lambda < 150^\circ$ нисходящих узлов всего лишь 12 (17.6 %). Таким образом, нисходящие узлы лежат практически в зоне повышенной концентрации афелиев. При захвате долгота узла изменяется очень незначительно ($1\text{--}2^\circ$). Следовательно, можно считать, что долгопериодические кометы прибыли к Юпитеру в основном из северного эклиптического полушария.

Подводя итоги, можно заключить, что основными закономерностями в комплексе короткопериодических комет, которым должна соответствовать космогоническая гипотеза, претендующая на адекватное отражение проблемы происхождения комет, являются следующие.

1. Преобладание прямых движений. Наклон к эклиптике $i < 30^\circ$ имеют 87 % орбит КПК. Восемь комет ретроградные.

2. Афелии (перигелии) расположены в основном вблизи узлов. Угол между линией узлов и линией аписид у $3/4$ орбит составляет менее 45° .

3. В комплексе КПК выделяется большая группа комет ($N = 172$ объекта), которая в распределении по суточному движению ограничена с двух сторон люками ($n = 300''$, $a = 5.1$ а. е., соизмеримость с Юпитером $1/1$ и $n = 700''$, $a = 2.9$ а. е., соизмеримость с Юпитером $3/7$). Узлы и афелии комет этого семейства лежат около орбиты Юпитера. Среднее значение постоянной Тиссерана для комет данного семейства равно $C = 2.80$.

4. Группа комет с 10 а. е. $< a < 30$ а. е. ограничена люками при $n = 120.5''$, соизмеримость с Сатурном $1/1$ и при $n = 25.5''$, соизмеримость с Нептуном $1/1$. Динамические характеристики комет этой группы близки к соответствующим параметрам почти параболических комет.

1. Аксеновский А. Г., Соловьев А. С., Томанов В. П. Константы Тиссерана долгопериодических комет // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 1.—С. 26—34.
2. Аксеновский А. Г., Калининцева О. В., Томанов В. П. Распределение перигелиев орбит долгопериодических комет // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 5.—С. 443—450.
3. Аллен К. У. Астрофизические величины. — М.: Мир, 1977.—446 с.
4. Всехсвятский С. К. О статистической зависимости между параметром и наклоном кометных орбит // Астрон. журн.—1934.—11, № 6.—С. 282—288.
5. Всехсвятский С. К. Физические характеристики комет. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958.—575 с.
6. Всехсвятский С. К. Природа и происхождение комет и метеорного вещества. — М.: Просвещение, 1967.—183 с.
7. Калининцева О. В. Комплекс долгопериодических кометных орбит: структура, закономерности: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / РАН. Ин-т прикладной астрономии. — СПб, 2002.—14 с.
8. Калининцева О. В. Наблюдательная селекция при открытии комет // Астрон. вестн.—2002.—36, № 3.—С. 282—288.
9. Кузьмичев В. В. Космогонические закономерности в системе почти параболических комет // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 6.—С. 523—533.
10. Натансон С. Г. О происхождении комет // Тр. астрон. обсерватории Петроградского ун-та.—1923.—С. 18—24.
11. Радзиевский В. В. Качественный анализ проблемы миграции комет. // Астрон. вестн.—1981.—15, № 1.—С. 32—35.
12. Радзиевский В. В. Вероятность открытия комет как критерий их происхождения // Астрон. журн.—1981.—58, № 6.—С. 1286—1294.
13. Радзиевский В. В., Томанов В. П. Статистический каталог параметров орбит долгопериодических комет в Лапласовой системе координат. — М.: ВАГО, 1985.—133 с.
14. Радзиевский В. В. Происхождение и динамика кометной системы // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—3, № 1.—С. 66—77.
15. Томанов В. П. Статистика короткопериодических комет // Астрон. вестн.—1980.—14, № 3.—С. 162—167.
16. Томанов В. П. К вопросу захвата комет Юпитером // Астрон. журн.—1980.—57, № 4.—С. 816—823.
17. Томанов В. П. О происхождении короткопериодических комет // Кометы и метеоры.—1980.—№ 28.—С. 26—32.
18. Томанов В. П. Существует ли семейство короткопериодических комет Сатурна? // Астрон. циркуляр.—1983.—№ 1254.—С. 4—6.
19. Томанов В. П. Критерий Радзиевского — Тиссерана // Комет. циркуляр.—1984.—№ 328.—С. 4.
20. Томанов В. П. Кометная космогония. — Вологда, 1989.—96 с.
21. Томанов В. П. О происхождении комет: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М.: МГУ, 1992.—29 с.

22. *Everhart E* Intrinsic distributions of cometary perihelia and magnitudes // *Astron. J.*—1967.—72, N 8.—P. 1002—1011.
23. *Everhart E*. Origin and evolution of comets // *Symp. Origine. Syst. Solsfre. Nice. Paris.*—1972.—P. 302—304.
24. *Kresak L., Pittich E*. The intrinsic number density of active long-period comets in the inner Solar System // *Bull. Astron. Inst. Czech.*—1978.—29.—P. 299—309.
25. *Marsden B. G.* Catalogue of cometary orbits. — Cambridge, 2001.—152 p.
26. *Richter H.* Statistik und Physik der Kometen. — Leipzig, 1954.—153 s.

Поступила в редакцию 09.03.04