

УДК 523.64

В. П. Томанов, В. В. Кузьмичев

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

Короткоперигелийные кометы

Выполнен статистический анализ системы ($n = 372$) короткоперигелийных ($q < 0.01$ а. е.) комет Крейца. Установлено, что орбиты комет Крейца лежат около плоскости с наклоном $i = 143^\circ$ и долготой восходящего узла $\Omega = 359^\circ$. Обнаружена зависимость наклона кометных орбит от долготы восходящего узла. Кометные перигелии резко концентрируются к точке $\lambda = 283^\circ$, $\beta = +35^\circ$. Обсуждается возможность объяснить основные закономерности в системе комет Крейца в рамках гипотезы межзвездного происхождения комет.

КОРОТКОПЕРИГЕЛІЙНІ КОМЕТИ, Томанов В. П., Кузьмичев В. В. — Виконано статистичний аналіз системи ($n = 372$) короткоперигелійних ($q < 0.01$ а. е.) комет Крейца. Встановлено, що орбіти комет Крейца лежать поблизу площини з нахилом $i = 143^\circ$ та довготою висхідного вузла $\Omega = 359^\circ$. Виявлено залежність нахилу кометних орбіт від довготи висхідного вузла. Кометні перигелії різко концентруються до точки $\lambda = 283^\circ$, $\beta = +35^\circ$. Обговорюється можливість пояснити основні закономірності в системі комет Крейца у рамках гіпотези міжзоряного походження комет.

SHORT-PERHELION COMETS, by Tomanov V. P., Kuzmichev V. V. — Statistical analysis of the system of short-perihelion Kreutz comets ($n = 372$, $q < 0.01$ A. U.) is performed. It is found that the orbits of Kreutz comets lie close to the plane with the inclination $i = 143^\circ$ and longitude of ascending node $\Omega = 359^\circ$. A relationship between the comet orbit inclination and longitude of ascending node is revealed. Comet perihelia concentrate drastically to the point with $\lambda = 283^\circ$, $\beta = +35^\circ$. The possibility to explain the basic regularities in the Kreutz comet system within the framework of the hypothesis of interstellar origin of comets is discussed.

Короткоперигелийными называют кометы, у которых перигелийное расстояние орбит q не превышает 0.01 а. е. Впервые Крейц [12—14] обратил внимание на близкое сходство элементов орбит почти параболических комет, проходивших через перигелий в 1843, 1880, 1882 и 1887 гг. на

расстоянии $q < 0.01$ а. е. Всего в XIX столетии было открыто семь короткоперигелийных комет. Такие кометы стали называть кометами группы Крейца или кометами, «царапающими» Солнце (sungrazing comet). В период с 1900 г. по 1985 г. открыто 11 короткоперигелийных комет, за десятилетие с 1986 г. по 1995 — 10 комет, а с 1996 г. по июль 1999 г. открыто 67 комет группы Крейца. В последнее десятилетие короткоперигелийные кометы в основном открывались с помощью коронографов SOLWIND, SMM и SOHO.

Анализ комплекса короткоперигелийных комет открытых до 1989 г., в том числе 15 комет, обнаруженных коронографами SOLWIND и SMM, провел Марсден [17]. Выделены две подгруппы комет: к первой отнесены кометы 1843I, 1880I и 1963V, которые, возможно, появились в результате разделения одной кометы в 1487 г.; вторая подгруппа (1882II, 1945VII, 1965VIII), видимо, возникла в результате деления прародителя в 1100 г.

Для кометной статистики ниже будем использовать почти параболические кометы (ППК, период $P > 200$ лет) по каталогу Б. Марсдена (Central Bureau for Astronomical Telegrams, Cambridge, USA), презентованному нам в электронном варианте. В каталоге приводятся следующие элементы кометных орбит: T — момент прохождения через перигелий, i — наклон к эклиптике, Ω — долгота восходящего узла, ω — аргумент перигелия, q — перигелийное расстояние, e — эксцентриситет. Мы вычислили и дополнительно включили в каталог следующие параметры: λ_{π} , β_{π} — эклиптические координаты перигелия; λ_{Π} , β_{Π} — эклиптические координаты полюса орбиты; R_A , R_D — гелиоцентрические расстояния восходящего и нисходящего узлов.

По данным Марсдена к концу 2001 г. наблюдалось 1177 ППК, в том числе 414 комет с $q < 0.1$ а. е. Распределение последних по q приведено на рис. 1. Четкий максимум на гистограмме в интервале $0.0044 \leq q < 0.01$ а. е. образуют $n = 372$ комет. Эти короткоперигелийные кометы будем именовать группой Крейца.

Особенности комет Крейца проявляются как в исключительно малых q , так и в ориентации плоскостей орбит (i , Ω). Восходящие узлы расположены на узком интервале $309^\circ < \Omega < 30^\circ$ (рис. 2) и группируются к долготе около 0° .

Распределение комет по наклону i удобно изучать по распределению полюсов кометных орбит. Мы вычислили плотность $\sigma = n/2\pi(\cos i_1 - \cos i_2)$ полюсов кометных орбит на 18 шаровых слоях небесной сферы, параллель-

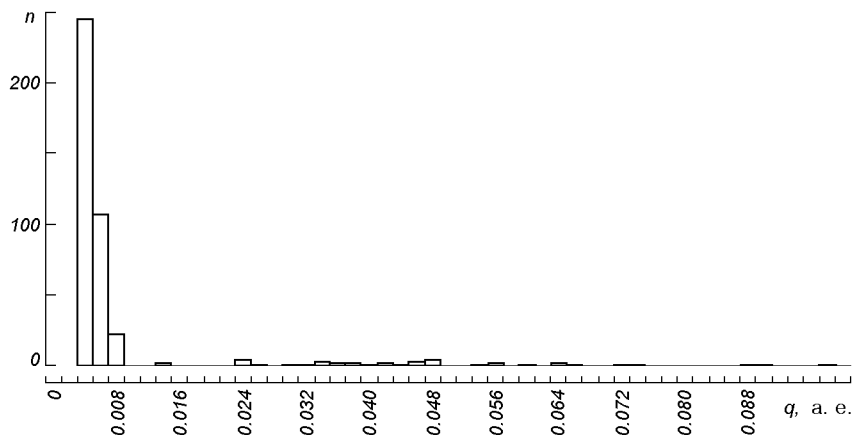


Рис. 1. Распределение короткоперигелийных комет по перигелийному расстоянию q

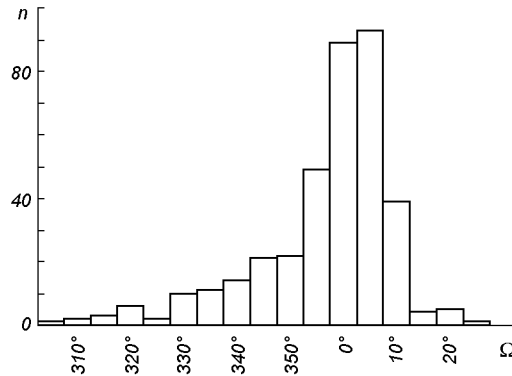


Рис. 2. Распределение количества n комет группы Крейца по долготе восходящего узла орбиты

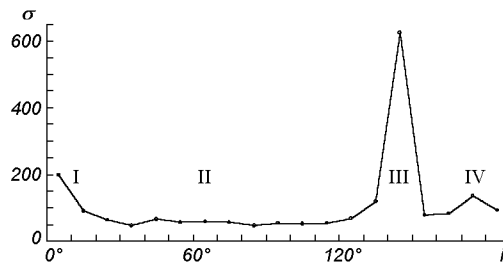


Рис. 3. Зависимость плотности у полюсов кометных орбит от наклона i

ных эклиптике. Принят интервал $\Delta i = 10^\circ$. Зависимость $\sigma(i)$ приведена на рис. 3 для всего комплекса ППК ($n = 1177$). Как видим, по значению σ кометы делятся на четыре подгруппы: I ($i < 15^\circ$), II ($15^\circ < i < 135^\circ$), III ($135^\circ < i < 165^\circ$), IV ($i > 165^\circ$). Кометы подгрупп I и IV, с повышенным значением σ , оказались на орбитах вблизи плоскости эклиптики, видимо, вследствие диффузии. Наиболее многочисленна подгруппа II. Кометы Крейца входят в подгруппу III, где $135^\circ < i < 155^\circ$. Таким образом, преобладание комет с $i \approx 143^\circ$ (рис. 3) — еще одна специфическая черта комет Крейца.

Известно, что есть корреляция открытий комет с солнечной активностью [3]. Мы попытались проверить наличие этой корреляции применительно к кометам Крейца. С этой целью на график солнечной активности накладывалась гистограмма распределения комет в эпоху T_0 прохождения их через перигелий. Получены весьма неопределенные результаты: эпоха T_0 совпадает либо с эпохой максимума, либо с эпохой минимума солнечной активности. Так, в годы максимума солнечной активности прошли через перигелий кометы C/1970K1, C/1981B1, C/1981O1, C/1981V1. В эпоху минимума прошли через перигелий кометы C/1843D1, C/1880C1, C/1945X1, C/1963R1, C/1965S1, C/1987T2, C/1987U4.

Но некая периодичность в появлении и открытии комет Крейца, видимо, имеет место. К примеру, в 1981—1984 гг. открыто четыре кометы, в 1985—1986 гг. — ни одной. Серия из 10 комет открыта в 1987—1989 гг., а с 1990 г. по 1995 г. открытий комет не было. Новая серия открытий комет началась в 1996 г. Эмпирически мы нашли, что период открытий комет Крейца приблизительно кратен сидерическому периоду Юпитера ($T_{10} =$

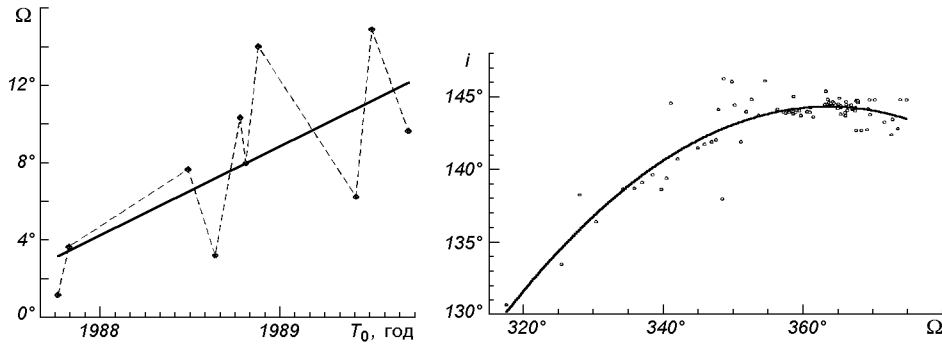


Рис. 4. Зависимость долготы восходящего узла Ω от эпохи T_0 прохождения комет через перигелий

Рис. 5. Зависимость наклона от долготы восходящего узла

Таблица 1. Осредненные параметры 372 короткоперигелийных кометных орбит

Характеристики орбит	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее	Стандартное отклонение
Наклон i	127.42°	148.56°	143.50°	2.60°
Долгота восходящего узла Ω	309.34°	29.69°	359.44°	12.94°
Аргумент перигелия ω	31.07°	103.33°	78.89°	11.10°
Перигелийное расстояние q , а. е.	0.0044	0.0154	0.00598	0.0012
Эксцентриситет e	0.999899	1.000000	0.999998	0.000012
Долгота перигелия λ_{π}	273.09°	296.18°	282.91°	2.67°
Широта перигелия β_{π}	18.08°	49.01°	34.93°	3.01°
Гелиоцентрическое расстояние восходящего узла R_A , а. е.	0.006174	0.01989	0.010174	0.001973
Гелиоцентрическое расстояние нисходящего узла R_D , а. е.	0.008958	0.09788	0.016531	0.010093

= 11.86 года). Возможно, есть связь моментов прохождения кометами перигелия с положением Юпитера на орбите: в то время, когда Юпитер находился на долготах от 0 до 90°, через перигелий прошло около половины комет Крейца.

Обнаружена зависимость $\Omega(T_0)$: кометы, позже прошедшие через перигелий, пересекают эклиптику в восходящем узле на больших долготах. На рис. 4 представлена зависимость $\Omega(T_0)$ для серии из 10 комет, наблюдавшихся в 1987—1990 гг.

Обнаружена зависимость $i(\Omega)$: наклон i изменяется с увеличением Ω по синусоидальному закону — тренд на рис. 5 представляет собой фрагмент синусоиды. При построении графика использовались элементы орбит 95 комет Крейца в появлениях до июля 1999 г.

Сведения об основных характеристиках комет Крейца приведены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, среднестатистическая комета Крейца приходит в околосолнечную зону из южного эклиптического полушария по почти параболической орбите ($\bar{e} = 0.999998$), пересекает эклиптику в восходящем узле с долготой $\Omega = 359.44^\circ$ на гелиоцентрическом расстоянии $\bar{R}_A = 0.0102$ а. е., проходит на минимальном расстоянии от Солнца $\bar{q} = 0.00598$ а. е., далее перемещается к нисходящему узлу $\bar{R}_D = 0.0165$ а. е. и

удаляется к афелию в южном полушарии. Здесь используются эклиптические координаты солнечного апекса:

$$\lambda_A = 270^\circ, \quad \beta_A = 53.5^\circ. \quad (1)$$

Откуда приходят к Солнцу кометы Крейца? Для ответа на этот вопрос определим направление на «средний» афелий. Для этой цели применим метод Натансона [4]. Если λ_Q, β_Q — эклиптические координаты кометных афелиев, то координаты λ_0, β_0 точки, к которой концентрируются афелии, находятся из системы уравнений

$$\begin{aligned} nr \cos \lambda_0 \cos \beta_0 &= \sum_{i=1}^n \cos \lambda_{Q_i} \cos \beta_{Q_i}, \\ nr \sin \lambda_0 \cos \beta_0 &= \sum_{i=1}^n \sin \lambda_{Q_i} \cos \beta_{Q_i}, \\ nr \sin \beta_0 &= \sum_{i=1}^n \sin \beta_{Q_i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где n — число комет, r — степень концентрации ($0 \leq r \leq 1$). Решение системы (2) применительно к $n = 372$ афелиям орбит комет Крейца дает значение

$$\lambda_0 = 102.91^\circ; \quad \beta_0 = -34.96^\circ; \quad r = 0.9978. \quad (3)$$

Поскольку $r \rightarrow 1$, то афелии проектируются практически в одну точку (3). Это означает, что короткоперигелийные кометы фактически имеют общую линию апсид, а точка (3) есть радиант данных комет. Таким образом, можно полагать, что кометы Крейца приходят к Солнцу из точки (3).

Примечательный факт близости долготы точки (3) к долготе солнечного антиапекса ранее отмечали В. В. Радзиевский и В. П. Томанов [5]: «Если выбрать из всего используемого материала кометы с $q < 0.01$ а. е., то окажется, что таких комет всего восемь, но все они имеют практически одинаковую долготу перигелия ($271^\circ \leq \lambda_{\pi} \leq 281^\circ$). Не будет преувеличением сказать, что эти кометы фактически падают на Солнце из точки, долгота которой совпадает с долготой солнечного антиапекса. Вероятность случайного попадания всех восьми объектов в сектор шириной 11° близка к нулю».

В работе [2] выполнен анализ распределения кометных перигелиев, доказана связь перигелийных направлений с апексом Солнца и направлением на центр Галактики, сделано заключение, что все статистические закономерности распределения перигелиев орбит долгопериодических комет свидетельствуют в пользу гипотезы межзвездного происхождения комет. В проблеме межзвездного происхождения комет обычно рассматриваются два механизма захвата комет в Солнечную систему: столкновительный захват межзвездной материи на антиапексиальной полуоси пекулярного движения Солнца по схеме Агеяна [1] — Литтлтона [16] и гравитационный захват комет планетами по схеме Лапласа [15].

Как известно, захват межзвездной материи на антиапексиальной полуоси движения Солнца за счет гравитационной фокусировки и последующих столкновений в наиболее общем виде был рассмотрен Т. А. Агеяном [1]. Аналогичный механизм захвата с применением результатов конкретно к проблеме происхождения комет рассматривался Литтлтоном [16]. В гипотезе Литтлтона предполагается, что образование комет происходит в двух встречных потоках захваченных межзвездных частиц на антиапексиальном луче движения Солнца (газопылевой шлейф — «хвост Нольке», как его назвал Н. Д. Моисеев). В модификации теории Агеяна, изложенной в

работе [6], предполагается, что кометы образуются из сгустков межзвездной среды, захваченных в результате взаимодействия с «хвостом Нольке».

Продолжим исследование этого вопроса применительно к короткоперигелийным кометам. Предварительно определим границы области возможных захватов, а далее покажем, что перигелии орбит захваченной материи должны концентрироваться в области солнечного апекса; выясним условия, при которых могут образовываться орбиты с малыми q .

Так же, как в большинстве работ по гравитационной фокусировке, считаем Солнце неподвижным. Тогда поток межзвездных частиц, имеющих в бесконечности скорость V_∞ , движется к Солнцу со стороны его апекса. Орбита каждой частицы есть невозмущенная гипербола с фокусом в Солнце. Пусть в некоторой точке, расположенной на угловом расстоянии θ от солнечного апекса, произошло столкновение двух частиц (тел). В работе [6] показано, что трансверсальные V'_t и радиальные V'_r компоненты обеих частиц перед столкновением определяются выражениями

$$(V'_t)_{1,2} = \frac{V_\infty}{2} \left[\sin \theta \pm \sin \theta \sqrt{1 + \frac{4\mu}{RV_\infty^2(1 + \cos \theta)}} \right], \quad (4)$$

$$(V'_r)_{1,2} = \frac{V_\infty}{2} \left[(1 - \cos \theta) \mp (1 + \cos \theta) \sqrt{1 + \frac{4\mu}{RV_\infty^2(1 + \cos \theta)}} \right], \quad (5)$$

где R — гелиоцентрический радиус-вектор точки столкновения, μ — произведение гравитационной постоянной на массу Солнца, знак «+» относится к частицам, еще не пересекшим луч движения Солнца, знак «-» — к встречным частицам.

При условии равенства масс сталкивающихся частиц средняя трансверсальная скорость после столкновения и гашения разнозначных компонентов будет равна

$$V_t = \frac{V_\infty}{2} \sin \theta, \quad (6)$$

а радиальная скорость после столкновения —

$$V_r = \frac{V_\infty}{2} (1 - \cos \theta). \quad (7)$$

Полная скорость определится из выражения

$$V^2 = V_t^2 + V_r^2 = \frac{V_\infty^2}{2} (1 - \cos \theta) = \frac{2\mu}{R} - \frac{\mu}{a}. \quad (8)$$

Для захвата необходимо, чтобы полная скорость была меньше параболической:

$$V^2 = \frac{V_\infty^2}{2} (1 - \cos \theta) \leq \frac{2\mu}{R}. \quad (9)$$

Из (9) определяем границы области захвата:

$$R = \frac{4\mu}{V_\infty^2(1 - \cos \theta)}. \quad (10)$$

Видно, что область захвата ограничена параболоидом вращения вокруг оси движения Солнца и с вершиной в направлении антиапекса. Расстояние до

вершины ($\theta = 180^\circ$, $V_\infty = 19.5$ км/с) равно

$$R = \frac{2\mu}{V_\infty^2} = 7 \cdot 10^{13} \text{ см} = 4.7 \text{ а. е.} \quad (11)$$

Поскольку в любой точке области захвата уравнениями (6) и (7) определены оба компонента скорости, то возникает возможность выразить элементы вторичной орбиты через координаты R и θ точки захвата, и наоборот, по известным элементам орбиты установить место (R , θ), где произошел захват.

Для дальнейшего нам будет достаточно выразить радиус-вектор точки захвата через перигелийное расстояние q орбиты, на которую будут переведены частицы после захвата. Из (7) и (8) следует $V^2 = V_\infty V_r$, откуда

$$V^4 = V_\infty^2 (V^2 - V_t^2). \quad (12)$$

Выражая в (12) V^2 через R из (8), используя (6) и решая полученное уравнение относительно R , находим

$$R = a \frac{1 + 2\varepsilon \pm \sqrt{e^2 - (1 - e^2)\varepsilon}}{1 + \varepsilon}, \quad (13)$$

где через ε обозначено отношение $\varepsilon = \mu / (aV_\infty^2)$. Если захват произошел на почти параболическую орбиту ($e = 1$, $\varepsilon \ll 1$), то выражение (13) может быть разложено в ряд по степеням ε и заменено приближенной формулой, выражающей R через перигелийное расстояние q :

$$R = q + \varepsilon Q \frac{1 + e}{2e} \approx q + \frac{2\mu}{V_\infty^2}, \quad (14)$$

где Q — афелийное расстояние.

В работе [8] доказана теорема: при захвате на поверхности параболоида (10) перигелий вторичной орбиты с $e = 1$ должен всегда точно совпадать с апексом Солнца.

Итак, в рамках теории межзвездного происхождения комет прогнозируется высокая концентрация перигелиев кометных орбит в районе солнечного апекса. Реальное распределение перигелиев ППК недавно изучалось в работе [2]. В табл. 2 приводятся результаты вычислений по уравнениям (2) применительно к перигелиям. В первой строчке приведены данные для $n = 1177$ комет: перигелии концентрируются к точке с координатами $\lambda_a =$

Таблица 2. Концентрация кометных перигелиев к солнечному апексу

Статистический коллектив	n	λ_a , град	β_a , град	r	θ_A , град
ППК	1177	277.5	41.4	0.383	13.1
Кометы Крейца ($q < 0.01$ а. е.)	372	282.9	34.9	0.998	20.6
ППК ($q > 0.01$ а. е.)	805	238.3	61.9	0.120	18.7
ДПК ($e < 1$)	267	254.2	37.3	0.150	19.6
ПК ($e = 1$)	734	283.3	40.7	0.530	15.6
ГК ($e > 1$)	176	228.8	40.7	0.174	30.3
Прямые ($i < 90^\circ$)	382	219.2	67.9	0.123	27.6
Обратные ($i > 90^\circ$)	795	280.1	37.7	0.523	17.3

$= 277.5^\circ$, $\beta_a = 41.4^\circ$, угловое расстояние которой от апекса (1) составляет $\theta_A = 13.1^\circ$. Из табл. 2 видно, что степень концентрации перигелиев к солнечному апексу максимальна у параболических комет ($e = 1$), у комет с обратным движением ($i > 90^\circ$). Смещение точек концентрации перигелиев от стандартного апекса в работе [2] интерпретируется как следствие возмущений.

Перигелии комет Крейца практически проектируются в одну точку: $\lambda_a = 282.9^\circ$, $\beta_a = 34.9^\circ$. Отклонение этой точки от стандартного апекса (1) составляет $\theta_A = 20.6^\circ$ (табл. 2). Можно предположить, что в эпоху захвата комет координаты солнечного апекса и точки концентрации перигелиев комет Крейца совпадали. Движение среднестатистической кометы Крейца происходит в плоскости $i = 143^\circ$, $\Omega = 359^\circ$ (табл. 1). Интересно, что данная плоскость почти перпендикулярна к галактической плоскости. Изменение координат солнечного апекса могло иметь место при колебаниях Солнца относительно галактической плоскости.

Если направление на кометный перигелий близко к направлению на солнечный апекс, то из теории столкновительного захвата вытекает еще одно исключительно важное положение: перигелийное расстояние кометной орбиты может быть сколь угодно малым. Другими словами, возникает возможность объяснить малые перигелийные расстояния комет Крейца. В работе [6] показано, что для ППК имеет место соотношение

$$q = \frac{\mu}{2V_\infty^2} \left[\frac{(1 + u^2/V^2)}{(1 - u^2/V_\infty^2)^2} \right] \sin^2 \theta_\pi, \quad (16)$$

Таблица 3. Кометные элементы орбит после захвата

Планета	V_∞ , км/с	φ , град	i , град	Ω , град	ω , град	a , а. е.	e	q , а. е.	λ_π , град	β_π , град
Меркурий	3	60	144.5	12.7	97.0	+145.5	0.999	0.170	111.2	+35.2
Венера	3	60	144.8	12.2	95.2	+81.8	0.996	0.327	108.5	+35.0
Юпитер	3	60	145.6	7.4	79.4	+181.7	0.984	2.978	84.6	+33.7
Меркурий	3	120	144.4	12.8	97.5	+47.4	0.996	0.167	112.0	+35.3
Венера	3	120	144.6	12.6	96.5	+30.7	0.990	0.316	111.6	+35.2
Юпитер	3	120	146.1	9.4	90.4	+27.0	0.914	2.315	99.9	+33.9
Меркурий	3	180	144.4	12.9	97.6	+126.8	0.999	0.166	112.2	+35.2
Венера	3	180	144.6	12.6	96.9	+68.4	0.995	0.310	111.1	+35.2
Юпитер	3	180	146.3	9.4	93.5	+59.0	0.966	1.991	103.6	+33.7
Меркурий	3	240	144.5	12.7	97.2	-52.5	1.003	0.167	111.6	+35.2
Венера	3	240	144.8	12.3	95.9	-45.7	1.007	0.316	109.5	+35.0
Юпитер	3	240	147.8	6.8	86.3	-48.6	1.047	2.296	92.4	+32.1
Меркурий	5	60	144.5	12.7	94.6	-85.1	1.002	0.177	108.3	+35.4
Венера	5	60	144.7	12.2	91.8	-144.3	1.002	0.347	104.5	+35.2
Юпитер	5	60	145.2	7.6	69.3	-60.8	1.056	3.375	73.0	+32.3
Меркурий	5	120	144.4	12.8	95.1	+327.8	0.999	0.175	109.1	+35.4
Венера	5	120	144.6	12.6	93.2	+69.3	0.995	0.395	106.5	+35.4
Юпитер	5	120	145.9	9.4	79.5	+54.5	0.950	2.722	86.7	+33.4
Меркурий	5	180	144.4	12.9	95.3	-104.0	1.002	0.174	109.3	+35.4
Венера	5	180	144.5	12.6	93.6	-411.2	1.001	0.329	107.0	+35.4
Юпитер	5	180	146.1	9.1	83.3	+633.7	0.996	2.366	91.0	+33.6
Меркурий	5	240	144.5	12.7	94.9	-27.4	1.006	0.175	108.7	+35.4
Венера	5	240	144.8	12.3	92.6	-25.7	1.013	0.335	105.5	+35.2
Юпитер	5	240	147.4	6.7	76.7	-27.5	1.097	2.671	81.0	+31.6

где u — дисперсия скоростей тел в бесконечности, θ_π — угловое расстояние перигелиев от апекса. Как видно из (16), при $\theta_\pi \rightarrow 0$ можно получить $q \rightarrow 0$.

Итак, в рамках теории столкновительного захвата можно объяснить исключительно малые перигелийные расстояния и резкую концентрацию перигелиев комет Крейца к солнечному апексу.

Далее мы проверили возможность объяснить происхождение комет Крейца на основе механизма гравитационного захвата комет планетами. В общем виде теория гравитационного захвата изложена в работе В. В. Радзиевского и В. П. Томанова [7], а применительно к захвату межзвездных комет Юпитером и Сатурном — в работе В. П. Томанова [9]. Предполагается, что до пересечения границы сферы влияния планеты кометное ядро движется по невозмущенной гелиоцентрической орбите. Одна из веток начальной гиперболы проходит через радиант, который совпадает с апексом Солнца, если само ядро в бесконечности покоится относительно того центроида звезд, по отношению к которому определены элементы солнечного апекса. При входе ядра в сферу влияния планеты осуществляется переход к планетоцентрическому движению. После выхода из сферы влияния ядро снова движется по невозмущенной гелиоцентрической орбите, которая и является конечной орбитой захваченной кометы.

В работе [10] приведен полный математический алгоритм, описывающий пертурбационный маневр кометы в гравитационном поле планеты. Разработана компьютерная программа, позволяющая вычислить все элементы кометной орбиты после захвата. Результаты вычислений приведены в табл. 3 для Меркурия, Венеры и Юпитера. При расчетах использовались следующие начальные условия: координаты солнечного апекса $\lambda_A = 283^\circ$, $\beta_A = +35^\circ$; скорость V_∞ кометы в бесконечности равна 3 и 5 км/с; долгота планеты $\lambda = 193^\circ$. Сферические планетоцентрические координаты φ и θ точки входа кометы в сферу влияния планеты изменялись с шагом 1° . Посчитан огромный массив теоретических орбит. В табл. 3 приведены элементы кометных орбит, образующихся при $\theta = 60^\circ$, и четырех значениях φ : $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ$.

Теоретические значения наклона i , долготы восходящего узла Ω и аргумента перигелия ω (табл. 3) практически совпадают с соответствующими средними значениями элементов орбит комет Крейца (табл. 1).

Теоретические значения большой полуоси a и эксцентриситета e также соответствуют каталожным данным для комет Крейца. Заметим, что на выходе из сферы влияния могут образовываться орбиты с гиперболическим эксцентриситетом и отрицательным значением a . В частности, при $\varphi = 240^\circ$ все планеты порождают орбиты с $a < 0$, $e > 1$ (табл. 3).

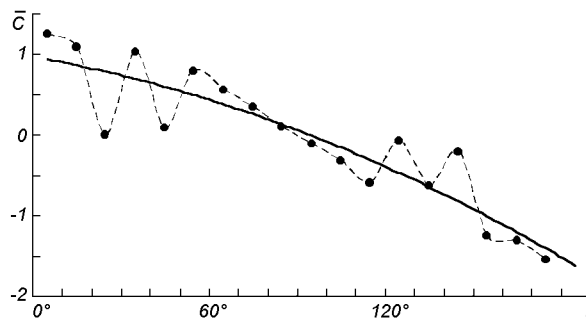


Рис. 6. Зависимость среднего значения постоянной Тиссерана \bar{C} от наклона i

Юпитер создает орбиты с максимальным перигелийным расстоянием q , Меркурий — с минимальным q . Однако даже Меркурий не в состоянии обеспечить захват комет с $q < 0.01$ а. е. Минимальное значение q у комет, вышедших из сферы влияния Меркурия, составляет 0.166 а. е. Это обстоятельство является серьезным аргументом против попытки объяснить происхождение комет Крейца путем захвата с помощью Меркурия.

Широта перигелия β_π теоретических орбит точно совпадает с широтой перигелия реальных комет, по расчетам долгота перигелия λ_π отличается примерно на 180° от долготы перигелия комет Крейца (табл. 3).

Для всех ППК мы вычислили значение постоянной Тиссерана

$$C_T = \frac{A}{a} + 2 \sqrt{\frac{(1+e)q}{A}} \cos i,$$

где $A = 5.2028$ а. е. — большая полуось орбиты Юпитера; a , e , q , i — элементы кометной орбиты.

На рис. 6 представлена зависимость постоянной Тиссерана от наклона. При построении графика использовались средние значения постоянной Тиссерана \bar{C} на каждом интервале $\Delta i = 10^\circ$. Как видно из рис. 6, для орбит с крутым наклоном ($55^\circ < i < 115^\circ$) имеет место почти линейная зависимость $\bar{C}(i)$. Для пологих орбит ($55^\circ < i$, $i > 115^\circ$) постоянная Тиссерана \bar{C} осциллирует относительно тренда. Представленная на рис. 6 зависимость $\bar{C}(i)$, видимо, отражает генетические особенности кометной системы и должна иметь космогоническую интерпретацию. Например, не исключено, что отмеченные осцилляции \bar{C} являются следствием многоступенчатого захвата.

Подводя итоги, можно констатировать, что систему комет Крейца характеризуют следующие основные закономерности.

1. Малые перигелийные расстояния $q < 0.01$ а. е.
2. Орбиты комет Крейца расположены около плоскости $i = 143^\circ$, $\Omega \approx 0^\circ$.
3. Кометы Крейца открываются сериями. Наблюдается периодичность эпохи T_0 прохождения комет через перигелий.
4. Для отдельной серии комет с увеличением T_0 увеличивается долгота восходящего узла.
5. Наблюдается зависимость i от Ω : с увеличением Ω увеличивается наклон i .

6. Кометные перигелии расположены недалеко от солнечного апекса.

Космогония комет Крейца может получить положительное решение в рамках теории межзвездного происхождения комет.

В работе рассмотрены кинематические следствия захвата комет из межзвездного пространства в результате двух механизмов:

- 1) гравитационный маневр кометы в сфере действия планеты (по Лапласу);
- 2) столкновительный захват на антиапексиальной полуоси пекулярного движения Солнца в результате гравитационной фокусировки (по Литтлону).

Кинематические характеристики и теоретические элементы кометных орбит, вычисленные на основе каждого из названных механизмов, оказываются практически одинаковыми и совпадающими с каталожными данными. Но если лапласовый механизм безупречен в небесно-механическом аспекте, и никогда не подвергался критике со стороны астрофизиков, то захват комет по Литтлону, как убедительно показал Л. М. Шульман [11], невозможен: при столкновении тел на антиапексиальной полуоси, так как происходит их

превращение в пар и дальнейший разлет по законам газодинамики, что, естественно, исключает в будущем образование ледяного кометного ядра.

1. Агекян Т. А. К динамике звездных прохождений сквозь облака метеорной материи // Докл. АН СССР.—1949.—79, № 4.—С. 515—521.
2. Аксеновский А. Г., Калиничева О. В., Томанов В. П. Распределение перигелиев орбит долгопериодических комет // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 5.—С. 443—450.
3. Добровольский О. В. Кометы. — М.: Наука, 1966.—288 с.
4. Натансон С. Г. О происхождении комет // Тр. астрон. обсерватории Петроград. ун-та.—1923.—С. 18—24.
5. Радзиевский В. В., Томанов В. П. К вопросу о происхождении почти параболических комет // Астрон. журн.—1970.—47, № 5.—С. 1094—1099.
6. Радзиевский В. В., Томанов В. П. Новые данные в пользу межзвездного происхождения комет // Астрон. вестн.—1973.—7, № 2.—С. 73—82.
7. Радзиевский В. В., Томанов В. П. О захвате комет по схеме Лапласа // Астрон. журн.—1977.—54, № 2.—С. 388—397.
8. Томанов В. П. Апокс Солнца относительно протокометного облака // Астрон. журн.—1976.—53, № 3.—С. 647—654.
9. Томанов В. П. К вопросу о захвате комет Юпитером // Астрон. журн.—1980.—57, № 4.—С. 816—823;—1981.—58, № 2.—С. 408—415.
10. Томанов В. П., Кузьмин С. В., Аксеновский А. Г. Захват межзвездных комет // Астрон. вестн.—1994.—28, № 2.—С. 83—94.
11. Шульман Л. М. О невозможности образования комет по схеме Литтлтона // Астрометрия и астрофизика.—1980.—Вып. 40.—С. 69—73.
12. Kreutz H. Untersuchungen über das Kometensystem 1843 I, 1880 I und 1882 II. I Teil // Publ. Sternw. Kiel.—1888.—N 3.—S. 1—11.
13. Kreutz H. Untersuchungen über das System der Kometen 1843 I, 1880 I und 1882 II. II Teil. Der grosse Septembekomet 1882 II // Publ. Sternw. Kiel.—1891.—N 6.—S. 1—67.
14. Kreutz H. Untersuchungen über das Kometensystem 1843 I, 1880 I und 1882. III Teil // Astron. Abhandl.—1901.—1.—P. 1—90.
15. Laplace P. S. Exposition du systems du Monde. — Paris, 1796.—Ed. 1-5.
16. Lyttleton R. A. The Comets and their Origin. — Cambridge: Univ. Press, 1953.—143 p.
17. Marsden B. G. The sungrazing Comet Group // Astron. J.—1989.—98, N 6.—P. 2306—2321.

Поступила в редакцию 09.09.04