

УДК 523.64

В. П. Томанов

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

О происхождении комет

Приводится краткая история кометной космогонии. Критически рассмотрены: эруптивная гипотеза, гипотеза о реликтовом происхождении комет и гипотеза о генетической связи комет с транс-плутоновыми планетами. Подтвержден теоретический вывод Лапласа о захвате долгопериодических комет Юпитером на короткопериодические орбиты. Сделан вывод о перспективности гипотезы межзвездного происхождения комет.

ПРО ПОХОДЖЕННЯ КОМЕТ, Томанов В. П. — Подається коротка історія кометної космогонії. Критично розглядаються: еруптивна гіпотеза, гіпотеза про реліктове походження комет та гіпотеза про генетичний зв'язок комет з транс-плутоновими планетами. Підтверджено теоретичний висновок Лапласа про захоплення довгоперіодичних комет Юпітером на короткоперіодичні орбіти. Зроблено висновок про перспективність гіпотези міжзоряного походження комет.

ON THE ORIGIN OF COMETS, by Tomanov V. P. — The history of cometary cosmogony is briefly considered. The eruptive hypothesis, the hypothesis on relict origin of comets and the hypothesis on the genetic connection between comets and transplutonian planets are critically discussed. The theoretical prediction of Laplace as to the capture of long-period comets by Jupiter into short-period orbits is confirmed. We conclude that the hypothesis on the interstellar origin of comets is promising.

Начала научной кометной космогонии были заложены на рубеже XVIII и XIX веков в виде двух основных направлений, которые продолжают развиваться до настоящего времени. Лаплас [93] предложил первую научную гипотезу о межзвездном происхождении комет, ввел

в небесную механику понятие сферы действия планеты, создал метод определения трансформации кометной орбиты в сфере действия Юпитера. Лагранж [92] математически обосновал новую гипотезу о происхождении комет в результате взрывов на больших планетах, особенно на Юпитере, и явился родоначальником вулканической (эруптивной) теории происхождения комет.

За два столетия научной кометной космогонии создано несколько десятков гипотез о происхождении комет [48]. Назовем лишь некоторые из них. Оорт [103, 104] из анализа распределения величин обратных больших полуосей кометных орбит пришел к выводу о существовании «облака» комет на расстоянии 100—150 тыс. а. е. от Солнца. Литтлтон [94] предложил гипотезу об образовании комет из межзвездной материи, захваченной в Солнечную систему в результате гравитационной фокусировки.

Гипотезу о реликтовом происхождении комет в первичном газопылевом облаке рассматривали О. Ю. Шмидт [67], Камерон [76], Хиллс [86], Л. М. Шульман [69]. Согласно гипотезе Койпера [91] кометы конденсировались в первичной лапласовской туманности на расстоянии 40—50 а. е. от Солнца.

Согласно гипотезе Альвена [1] кометы рождаются в метеорных потоках, а по мнению В. Д. Давыдова [13] кометы возникают при приливном разрушении астероидов. О. В. Орлов [26] развивал гипотезу об образовании комет в результате столкновений астероидов с крупными метеоритами.

Гипотезу о генетической связи почти параболических комет с гипотетическими транснептуновыми планетами разрабатывали В. В. Радзиевский [29], А. С. Гулиев [8, 10] и др.

Мультион [22] предположил, что кометы образуются из вещества, вырванного или выброшенного из Солнца. Б. М. Константинов с коллегами [16] высказали гипотезу о том, что кометы приходят к Солнцу от других звездных систем, состоящих из антивещества.

В 1977 г. при подведении итогов исследований комет за 26 лет Ридли [105] выделил четыре основных направления: модель ледяного ядра Уиппла, облако Оорта, теория происхождения комет Литтлтона и воздействие солнечного ветра на хвосты комет. В 1986 г. в обзорной работе, посвященной происхождению комет, Бейли и Стагг [73] выделили три периода в истории кометной космогонии: 1) до 1940 г., когда кометы считались малосущественным компонентом Вселенной; 2) преимущественное развитие взглядов Оорта, которое продолжалось несколько десятилетий; 3) интенсивное исследование захвата комет из межзвездного облака в последнее десятилетие.

Обилие гипотез свидетельствует о явном неблагополучии в кометной космогонии. Ни одна из гипотез не получила широкого признания. Часто гипотезы оказываются невостребованными потому, что их авторы для проверки теоретических выводов в недостаточной мере используют данные кометных каталогов. К примеру, полностью игно-

рирует каталожные данные Ф. А. Цицин [59]. Гипотеза также оказывается невостребованной, если ее автор игнорирует астрофизический аспект проблемы. Такая участь постигла гипотезу Литтлтона [94], после того как Л. М. Шульман [68] показал, что при столкновении на антиапексальной полуоси движения Солнца тела неминуемо превращаются в пар, вследствие чего становится невозможным формирование ледяного кометного ядра. Космогоническая гипотеза, претендующая на адекватное отражение механизма рождения кометных ядер, должна содержать сравнение теоретических и наблюдаемых элементов кометных орбит, объяснять основные закономерности в кометной системе и прогнозировать новые, ранее не известные закономерности [50].

В работе В. В. Кузьмичева [18] выполнен статистический анализ системы почти параболических комет (ППК, период $P > 200$ лет) с использованием каталога Марсдена и Уильямса [98], включающего 1177 ППК в появлении к концу 2001 г. Выявлены следующие закономерности в системе ППК, которые должны иметь космогоническую интерпретацию: 1) перигелии и узлы орбит почти параболических комет расположены в основном на малых гелиоцентрических расстояниях ($r < 1.5$ а. е.). Это означает, что орбиты ППК пронизывают Солнечную систему преимущественно через зону планет земной группы; 2) афелии долгопериодических комет расположены около пояса Койпера; 3) функция распределения ППК по эксцентриситету резко обрывается при $e = 1$; 4) линии апсид ППК составляют малый угол с вектором пекулярной скорости Солнца; 5) наблюдается высокая концентрация плоскостей кометных орбит около плоскости эклиптики; 6) в системе ППК есть 372 кометы с $q < 0.01$ а. е. Все эти кометы движутся вблизи плоскости ($i = 143$, $\omega = 0$) и имеют практически общий перигелий ($\omega = 238$, $\omega = +35$).

В работе О. А. Горшковой и В. В. Кузьмичева [6] выполнен статистический анализ комплекса короткопериодических комет (КПК, период $P < 200$ лет) и сделано заключение, что основные закономерности в комплексе КПК, которые должны быть объяснены космогонической гипотезой, таковы: 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 апсид у $3/4$ орбит составляет менее 45° ; 3) в комплексе КПК выделяется большая группа комет из 172 объектов, которая в распределении по суточному движению ограничена с одной стороны люком при $n = 300''$, $a = 5.1$ а. е. (соизмеримость с Юпитером 1:1), а с другой стороны — люком при $n = 700''$, $a = 2.9$ 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 $C = 2.80$; 4) кометы с 10 а. е. $< a < 50$ а. е. двигаются в резонансе с Сатурном и Нептуном (соизмеримость 1:1). Динамические характеристики комет

этой группы близки к соответствующим параметрам почти параболических комет. Названные закономерности могут использоваться как критерии для тестирования космогонических гипотез.

Эруптивная гипотеза. Гипотеза о выбросе комет с поверхности планет была исторически первой научной космогонической гипотезой. Лагранж [92] высказал мысль о том, что частичные или полные взрывы удаленных от Солнца планет могли порождать кометы. Он нашел, что некоторые из обломков могли получить параболические скорости, другие — эллиптические. При этом для выброса будущей кометы на параболическую орбиту необходима скорость $(\sqrt{2}-1)V_{\text{пл}} < V < (\sqrt{2}+1)V_{\text{пл}}$, где $V_{\text{пл}}$ — круговая скорость планеты. Математическая сторона гипотезы Лагранжа выполнена изящно, но по заявлению Скиапарелли [107] «первые приложения этой гипотезы Ольберсом к объяснению происхождения комет встретили холодный прием у астрономов. И ни один факт в дальнейшем не подтвердил ее».

С. К. Всехсвятский [4], начиная с 1930-х гг., развивал гипотезу Лагранжа, предполагая вначале, что кометы являются продуктом вулканической деятельности Юпитера, а в 1960-х годах он считал, что источником короткопериодических комет могли быть спутники планет-гигантов. Э. М. Дробышевский [14] предложил механизм выброса фрагментов ледяной коры спутников планет-гигантов вследствие взрыва гремучего газа, образующегося в результате электролиза электрическим током, обусловленного взаимодействием спутника с магнитосферой планеты.

Многие исследователи критически рассматривали гипотезу о происхождении комет путем взрывов или извержений на планетах и спутниках и приходили к выводу о ее несостоятельности. Приведем некоторые доводы, высказывавшиеся против этой гипотезы.

Впервые Гаусс [85] отметил, что линия узлов кометной орбиты должна совпадать с линией апсид и одновременно лежать в плоскости орбиты кометы, чего в действительности не наблюдается.

Тиссеран [113] показал, что в результате выброса вектор скорости должен образовать с радиусом-вектором угол $35^{\circ} 16'$, и заключил, что «эти весьма ограничительные условия делают совершенно невероятной рассматриваемую гипотезу».

Согласно гипотезе извержения кометные орбиты должны начинаться на поверхности планет или спутников. Однако тщательные исследования короткопериодических комет на предмет нулевых сближений с планетами и спутниками дали отрицательный результат — Файе [81], Корлин [78], Каменьски [89], С. Г. Маковер [21], Танкреди и Риккман [111]. Кресак [17] указал на отсутствие какой-либо динамической связи трех комет со спутниками Урана и заключил: «сомнительно, обоснованно ли вообще называть их «семейством Урана». В работах В. П. Томанова [43, 44] было показано, что кометы предпола-

гаемого семейства Сатурна, всего 10 объектов, не имеют динамической связи с Сатурном, а также что генетической связи комет с Ураном нет.

В. В. Радзиевский [28] рассмотрел условия выброса с Юпитера, определил скорость V продуктов извержения на границе атмосферы Юпитера в функции элементов кометной орбиты. Было показано, что для получения теоретических кометных орбит, адекватных наблюдаемым, необходимо ограничить скорость извержения на Юпитере величиной 60.45 км/с и считать «работающий» диапазон скоростей шириной всего лишь в 0.25 км/с.

В работе М. В. Николаевой и В. П. Томанова [25] в рамках задачи трех тел изучены условия выброса на гелиоцентрическую орбиту с любого спутника планет Солнечной системы. Получена формула, определяющая необходимую начальную скорость V на спутнике для старта на гелиоцентрическую орбиту с большой полуосью a , эксцентриситетом e , перигелийным расстоянием q , наклоном i . Вычислены значения V для всех реальных комет, которые обычно относят к семействам Сатурна, Урана, Нептуна. Оказалось, что необходимые скорости выброса в 2-3 раза больше тех теоретических значений скоростей, которые принимал С. К. Всехсвятский [4].

Важнейшим критерием, определяющим правдоподобность космогонической гипотезы, является соответствие теоретических и наблюдаемых (каталожных) элементов кометных орбит. Теоретические элементы кометных орбит вычислены по формулам С. К. Всехсвятского [4] в работах [24, 25] и показано, с использованием критериев согласия Пирсона и Колмогорова, что теоретические орбиты не согласуются с орбитами реальных комет.

В работе В. П. Томанова [49] выполнена проверка эруптивной гипотезы на предмет извержения почти параболических комет. Проведен статистический анализ распределения наклонов, полюсов, гелиоцентрических расстояний узлов кометных орбит и «кометных близнецов». Факторов, подтверждающих гипотезу извержения, не обнаружено. В работе [45] сравниваются основные следствия, вытекающие из гипотез захвата и извержения комет, обсуждаются в сравнительном плане некоторые характеристики кометной системы — блеск, химический состав комет, кометные семейства и др. Сделан вывод о несоответствии эруптивной гипотезы основным закономерностям в кометной системе. Получены новые аргументы в пользу гипотезы захвата комет.

Гипотеза захвата. Гипотезу Лапласа [93] о межзвездном происхождении комет развивали Ньютон [101, 102], Тиссеран [113], Шульгоф [109], Калландро [74], которые заложили основы теории происхождения короткопериодических комет в результате захвата — преобразования первоначальной вытянутой орбиты в короткопериодическую под действием сильных планетных возмущений при прохождении кометы в сфере действия планеты.

Во второй половине XX века в связи с развитием вычислительной техники появилось огромное число публикаций, посвященных проблеме захвата комет. В работе [77] дан обширный обзор работ по захвату короткопериодических комет, рассмотрены одноступенчатые и многоступенчатые захваты, изучены либрационные движения в окрестности резонансов с большими планетами.

Проблеме происхождения короткопериодических комет в результате захвата планетами-гигантами посвящены работы В. П. Томанова [38, 39, 41, 42, 46]. В работах Е. И. Казимирчак-Полонской (например [15]) подтверждены основные выводы французских теоретиков и сделан новый значительный шаг в развитии теории захвата. Исследована эволюция многих короткопериодических комет (КПК) с полным учетом планетных возмущений, а иногда и с учетом негравитационных эффектов на интервале четырехсот лет (1660—2060 гг.). Эверхарт [79, 80] методом Монте-Карло исследовал миллионы фиктивных комет на больших интервалах времени, подтвердил основные выводы Е. И. Казимирчак-Полонской, показал, что большинство КПК может быть получено в результате захвата с парабол, если перигелийное расстояние q и наклон i удовлетворяют условиям

$$q = 4 \dots 6 \text{ а. е.}, \quad i < 9^\circ. \quad (1)$$

Этот исключительно важный в космогоническом аспекте теоретический прогноз Эверхарта проверен с помощью реальных комет в работе В. П. Томанова [51].

В настоящее время, по-видимому, общепризнано, что короткопериодические кометы — продукт захвата планетами-гигантами, прежде всего Юпитером, из поля долгопериодических комет. Из какого резервуара Юпитер черпает КПК? Койпер [91] предположил, что кометные ядра сконденсировались в первичной лапласовской туманности на расстоянии 40—50 а. е. от Солнца. Данную транснептуновую зону теперь называют поясом Койпера. К настоящему времени здесь открыто более 700 объектов кометно-астероидного типа.

Глобальной проблемой кометной космогонии является вопрос о происхождении ДПК и ППК, служащих базой для захвата на короткопериодические орбиты. Захват межзвездных комет в Солнечную систему в результате гравитационного взаимодействия с планетами рассмотрен в работах В. В. Радзиевского и В. П. Томанова [30, 31]. Исследован захват межзвездных комет, имеющих в бесконечности относительную скорость V , и движущихся в Солнечную систему из радианта, совпадающего с апексом пекулярного движения Солнца ($\lambda_A = 270^\circ$, $\beta_A = 53.5^\circ$). Доказана теорема: необходимым и достаточным условием захвата малого тела Солнечной системой является такое его взаимодействие с планетой, в результате которого проекция скорости этого тела на вектор скорости планеты u уменьшается на величину $\Delta u = V^2 / 2u$. Получены формулы, определяющие все элемен-

ты орбиты захваченного кометного ядра как функции V и места захвата. Теоретические элементы орбит хорошо согласуются с наблюдаемыми.

В наших работах теоретически предсказаны и подтверждены на основе статистической обработки каталожных данных следующие новые закономерности в кометной системе [33—37]: а) зависимость наклона кометных орбит от долготы восходящего узла; б) распределение восходящих узлов кометных орбит в зависимости от эклиптической долготы; в) эффект группировки полюсов кометных орбит к большому кругу, плоскость которого перпендикулярна к оси движения Солнца; г) закономерности распределения числа перигелиев и блеска комет в зависимости от углового расстояния их орбит от апекса Солнца; д) эффект концентрации узлов и перигелиев к орбитам больших планет; е) зависимость между перигелийным расстоянием кометных орбит и расстоянием от апекса Солнца; ж) эффект асимметрии элементов кометных орбит относительно круга эклиптических широт, проходящего через солнечный апекс. В работе [47] приведены современные аргументы в пользу гипотезы Лапласа о межзвездном происхождении комет, подкрепленные множеством ссылок: 1) кометные ядра существуют в недрах межзвездных газопылевых и молекулярных облаков; 2) химический состав комет и межзвездной среды тождественен; 3) Солнце многократно пересекало межзвездные облака, галактическую плоскость, спиральные рукава Галактики; 4) эпоха захвата комет в Солнечную систему соответствует последнему прохождению Солнца через облако, содержащее кометные ядра (несколько миллионов лет тому назад).

В литературе встречается единственный аргумент против концепции межзвездного происхождения комет: должны наблюдаться кометы с большими гиперболическими эксцентриситетами ($e > 2$). Действительно, такие кометы могли бы наблюдаться, но лишь в эпоху захвата, которая имела место несколько миллионов лет назад.

Гипотеза о связи комет с трансеплутоновыми планетами.

Известно, что афелии короткопериодических комет ($P < 100$ лет) располагаются около орбит планет-гигантов. Исходя из критерия близости кометных афелиев к орбите планеты комплектуются семейства КПК Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Впервые Шютте [108] обратил внимание на семейство из пяти (109P/1862 O1, C/1889 M1, C/1907 G1, C/1917 F1, 35P/1939 O1) долгопериодических комет (ДПК, $P > 100$ лет), афелийные расстояния Q которых заключены в интервале 47.6—59.0 а. е. Родительской планетой семейства Шютте считал Плутон. Позднее он указал еще одну группу из 11 комет с афелиями, расположенными в трансеплутоновой зоне 73.1 а. е. Q 102.5 а. е. [110]. Г. А. Чеботарев [64] предположил, что первое семейство принадлежит неизвестной десятой планете с большой полуосью $A = 53.7$ а. е., а второе — связано с гипотетической трансеплутоновой планетой, имею-

щей большую полуось $A = 100$ а. е., равную среднему афелийному расстоянию Q кометных орбит.

А. С. Гулиев и А. С. Дадашов [12] предполагают, что пять комет с афелийными расстояниями от 47.7 до 59.2 а. е. связаны с планетой, имеющей большую полуось $A = 55$ а. е., наклон орбиты к эклиптике $i = 30^\circ$, долготу восходящего узла $\Omega = 272^\circ$. По их мнению, для шести комет ($99 \text{ а. е.} < Q < 116 \text{ а. е.}$) есть «родоначальная» планета с орбитальными характеристиками $i = 30^\circ$, $\Omega = 341^\circ$, $A = 110$ а. е. Авторы отмечают, что они исходили из предположения близости афелийных расстояний кометных орбит к большой полуоси орбиты «родоначальной» планеты.

Для определения большой полуоси A орбиты родительской планеты В. П. Томанов и С. В. Кузьмин [54] использовали критерий Радзиевского — Тиссерана. Сделан вывод о возможной трансеплутоновой планете на гелиоцентрических расстояниях 55—60 а. е. в плоскости эклиптики.

А. С. Гулиев [7], анализируя данные о короткопериодических кометах, которые обычно относят к семейству Нептуна, предположил существование неизвестной планеты ($i = 30^\circ$, $\Omega = 287^\circ$) в зоне Нептун — Плутон.

В основу гипотезы В. В. Радзиевского [29] положен постулат о наличии на окраине Солнечной системы двух массивных планет X1 ($P = 2000$ лет, $i = 140^\circ$, $\Omega = 75^\circ$, $m = 50m_3$), X2 ($P = 1800$ лет, $i = 60^\circ$, $\Omega = 270^\circ$). Обе планеты движутся около галактической плоскости. Параметры планет получены статистическими методами и имеют точность порядка 10° . Показано [52, 53], что при обработке наблюдательного материала В. В. Радзиевским получены ошибочные результаты. Полагая, что перигелии (афелии) орбит почти параболических комет расположены около плоскости орбиты «материнской» планеты, он ошибочно сделал вывод об их концентрации к галактическому экватору. Фактически на галактических широтах $-5 < b < +15$ имеет место дефицит перигелиев. Не соответствует действительности заключение о повышенной концентрации полюсов орбит ППК к галактическим полюсам.

Б. Н. Науменко [23], анализируя данные об орбитах 22 комет, пришел к выводу о существовании четырех неизвестных планет ($A = 77, 123, 201, 285$ а. е.). А. С. Гулиев [9] предсказывает существование планеты, движущейся по орбите с $A = 165$ а. е., $i = 37^\circ$. По мнению Андерсона [71] существует неизвестная планета, орбита которой либо сильно вытянута и имеет $A = 57...107$ а. е., либо почти перпендикулярна к эклиптике. Исследуя 20 орбит долгопериодических комет, Матис с сотрудниками [100] предположили существование далекой планеты с массой $m \approx 3m_{Ю}$, большой полуосью $A \approx 25000$ а. е. и наклоном $i = 90^\circ$.

Здесь мы предпринимаем попытку проверить реальность существования планеты X, применяя для этой цели долгопериодические

кометы. В статистике будем использовать кометный каталог [98], в котором содержатся элементы орбит 274 короткопериодических комет (КПК, $P < 200$ лет) и 792 почти параболических комет (ППК, $P > 200$ лет). Проверять наличие гипотетических планет будем в трех плоскостях: плоскость π_1 , перпендикулярная к эклиптике и проходящая через точки солнцестояний ($i = 90.0^\circ$, $\Omega = 90.0^\circ$); плоскость Галактики π_2 ($i = 60.2^\circ$, $\Omega = 269.3^\circ$); плоскость эклиптики π_3 . В каталоге Марседена элементы орбит даны в эклиптической системе координат. Мы вычислили элементы кометных орбит в системах координат, где в качестве основной плоскости приняты плоскости π_1 и π_2 . Таким образом, ниже будем использовать кометный каталог в трех системах координат.

Оценим возможный радиус орбиты родительской планеты по положению узлов кометных орбит. Если комета выходит на гелиоцентрическую орбиту из сферы действия планеты, то один из узлов ее орбиты («рабочий» узел или место ее «рождения») обязан располагаться на орбите родительской планеты с отклонением от нее не более чем на величину радиуса сферы действия. Гелиоцентрическое расстояние восходящего (R_A) и нисходящего (R_D) узлов кометных орбит определяется из формул

$$R_A = \frac{q(1 - e)}{1 - e \cos \theta}, \quad R_D = \frac{q(1 + e)}{1 + e \cos \theta}, \quad (2)$$

где q , e , θ — перигелийное расстояние, эксцентриситет и аргумент перигелия. Значения полученных величин R_A и R_D приведены в табл. 1. Максимальное число узлов ($N = 675$ или 42.6 % от общего числа) расположено на эклиптике (плоскость π_3) на гелиоцентрических расстояниях $R < 2$ а. е. На плоскостях π_1 и π_2 число узлов на 1-2 % меньше. На эклиптике на гелиоцентрических расстояниях $R < 6$ а. е. расположено $N = 1083$, или 68 % узлов. Плотность $\rho = N / (R_2^2 - R_1^2)$ в зоне планет земной группы на плоскости π_3 составляет 0.001 (а. е.) $^{-2}$. Около орбиты Юпитера плотность уменьшается до $\rho = 1.94$ (а. е.) $^{-2}$. В поясе Койпера $\rho = 2.6 \cdot 10^{-3}$ (а. е.) $^{-2}$. Таким образом, абсолютное большинство узлов находится на малых гелиоцентрических расстояниях. Если рождение комет происходит в узлах, то место их рождения, возможно, находится в близкой околосолнечной области.

А. С. Гулиев [8] высказывает гипотезу о двух трансплутонных планетах, основываясь на преобладании узлов кометных орбит в двух зонах: на гелиоцентрических расстояниях 48.5—56.6. а. е. в плоскости $\pi_1 = 262.9^\circ$, $i_1 = 29.6^\circ$, а также на интервале 102—112 а. е. в плоскости $\pi_2 = 341^\circ$, $i_2 = 30.5^\circ$. Для проверки гипотезы о трансплутонных планетах в указанных плоскостях мы создали два каталога в координатных системах, где за основные плоскости приняты данные плоскости. Характер распределения узлов в первой плоскости таков же, как и в табл. 1: наблюдается очень высокая концентрация узлов на

Таблица 1. Распределение гелиоцентрических расстояний восходящих и нисходящих узлов в трех плоскостях

$R_{A,D}$, а. е.	1		2		3	
	N	, (а. е.) ⁻²	N	, (а. е.) ⁻²	N	, (а. е.) ⁻²
0—2	640	50.93	663	52.76	675	53.71
2—4	276	7.32	252	6.68	286	7.59
4—6	108	1.72	132	2.10	122	1.94
6—8	81	0.92	77	0.88	75	0.85
8—10	68	0.58	46	0.41	50	0.44
10—20	104	0.11	127	0.14	117	0.12
20—30	38	$2.42 \cdot 10^{-2}$	55	$3.50 \cdot 10^{-2}$	53	$3.37 \cdot 10^{-2}$
30—40	37	$1.68 \cdot 10^{-2}$	47	$2.13 \cdot 10^{-2}$	25	$1.14 \cdot 10^{-2}$
40—50	19	$6.72 \cdot 10^{-3}$	21	$7.43 \cdot 10^{-3}$	21	$7.43 \cdot 10^{-3}$
50—60	16	$4.63 \cdot 10^{-3}$	13	$3.76 \cdot 10^{-3}$	9	$2.60 \cdot 10^{-3}$
60—70	12	$2.94 \cdot 10^{-3}$	15	$3.67 \cdot 10^{-3}$	12	$2.94 \cdot 10^{-3}$
70—80	13	$2.76 \cdot 10^{-3}$	18	$3.82 \cdot 10^{-3}$	12	$2.55 \cdot 10^{-3}$
80—90	10	$1.87 \cdot 10^{-3}$	9	$1.69 \cdot 10^{-3}$	8	$1.50 \cdot 10^{-3}$
90—100	11	$1.84 \cdot 10^{-3}$	9	$1.51 \cdot 10^{-3}$	4	$6.70 \cdot 10^{-4}$
100—200	43	$4.56 \cdot 10^{-4}$	35	$3.71 \cdot 10^{-4}$	23	$2.44 \cdot 10^{-4}$
200—300	16	$1.02 \cdot 10^{-4}$	17	$1.08 \cdot 10^{-4}$	18	$1.15 \cdot 10^{-4}$
300—400	11	$5.00 \cdot 10^{-5}$	5	$2.27 \cdot 10^{-5}$	16	$7.28 \cdot 10^{-5}$
400—500	8	$2.83 \cdot 10^{-5}$	10	$3.54 \cdot 10^{-5}$	9	$3.18 \cdot 10^{-5}$
500—1000	29	$1.23 \cdot 10^{-5}$	11	$4.67 \cdot 10^{-6}$	17	$7.22 \cdot 10^{-5}$
>1000	44		22		32	

малых гелиоцентрических расстояниях, а далее идет резкий спад по экспоненте. На расстоянии $R < 2$ а. е. расположено 687 (46 %) узлов, плотность $\rho = 54.7$ (а. е.)⁻². На интервале 10 а. е. $< R < 20$ а. е. находится 103 узла, плотность здесь $\rho = 0.1$ (а. е.)⁻², что в 500 раз меньше, чем в околосолнечной области ($R < 2$ а. е.). Узлы, расположенные на расстояниях $R > 20$ а. е., можно считать спорадическими: на гелиоцентрических расстояниях 20 а. е. $< R < 120$ а. е. на площади $S = 43982$ (а. е.)² расположены 184 узла, или в среднем по 4.2 узла на 1000 (а. е.)². На гелиоцентрических расстояниях 48.5 — 56.6 а. е. лежат узлы 14 комет. Здесь плотность узлов очень мала: $\rho = 5.2 \cdot 10^{-3}$ (а. е.)⁻². Если 14 комет порождены одной планетой, то кометы должны иметь некоторые сходные динамические особенности. Среди 14 орбит есть две гиперболические и пять параболических. Для эллиптических орбит величина афелийного расстояния Q находится в пределах от 148 а. е. (C/1952 H1) до 15210 а. е. (C/1954 O2). Таким образом, афелии располагаются вне зоны гипотетической трансеплутоновой планеты. Распределение наклонов i кометных орбит имеет случайный характер: от 11.6 до 151.6 °.

Наличие узлов кометных орбит на периферии Солнечной системы есть следствие определенной ориентации орбит в плоскости движения кометы, задаваемой величиной аргумента перигелия ω . Как следует из формул (2), гелиоцентрическое расстояние восходящего узла R_A будет достаточно большим, если значение $\cos \omega$ близко к -1 , расстояние до нисходящего узла R_D примет большие значения при $\cos \omega \approx +1$. Математический прогноз подтверждается данными наблюдений. Можно было бы показать, что обнаруженный новый эффект в кометной системе имеет простое геометрическое объяснение.

Методику определения радиуса A орбиты материнской планеты с помощью комет предложил В. В. Радзиевский [29]. В рамках математического аппарата круговой ограниченной задачи трех тел он получил уравнение, определяющее аналитическую зависимость A от энергии и кинетического момента кометы. Оказалось, что математический формализм прогнозирует наличие родительских планет как на малых гелиоцентрических расстояниях (0.81, 0.99 а. е.), так и на далекой периферии Солнечной системы (955, 997, 1069 а. е.).

Если происхождение комет связано с планетами, то независимо от механизма выброса кометы из сферы действия планеты невозможная гелиоцентрическая орбита должна проходить в непосредственной близости от орбиты материнской планеты. Таким образом, стратегия поиска родительской планеты сводится к выяснению величины межорбитального расстояния планет и комет. Полагая орбиты планет круговыми радиуса A , мы вычислили минимальное расстояние r орбиты каждой кометы от орбит 11 гипотетических планет.

Результаты вычислений представлены в табл. 2, где для каждой из плоскостей $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, в которой предполагается наличие планеты, дан радиус A данной гипотетической планеты, минимальное расстояние r от кометы до планеты и число N комет, которые проходили

Таблица 2. Расстояния между орбитами ППК и орбитами гипотетических планет

Плоскость ω_1			Плоскость ω_2			Плоскость ω_3		
A , а. е.	r , а. е.	N	A , а. е.	r , а. е.	N	A , а. е.	r , а. е.	N
0.81	0.5	452	0.99	0.5	485	0.99	0.5	484
77	5	81	77	5	79	77	5	75
100	5	47	100	5	35	100	5	46
123	5	27	123	5	27	123	5	29
150	5	17	150	5	9	150	5	17
160	5	12	160	5	12	160	5	18
201	5	12	201	5	4	201	5	11
285	5	0	285	5	3	285	5	5
955	10	1	940	10	0	812	10	0
997	10	1	1006	10	0	958	10	1
1069	10	3	1332	10	0	1296	10	2

от орбиты этой планеты на расстоянии r , меньшем заданного значения. Для гипотетических орбит $A = 0.81$ и 0.99 а. е. (первая строчка) принято $r = 0.5$ а. е., для орбит с 1 а. е. $< A < 300$ а. е. $r = 5$ а. е., во всех остальных строках — $r = 10$ а. е. Например, к орбите $A = 0.99$ а. е. на плоскости π_3 проходили на расстоянии $r = 0.5$ $N = 484$ кометы, к орбите $A = 1069$ а. е. на плоскости π_1 на расстояниях $r = 10$ а. е. проходили $N = 3$ кометы. Видно, что абсолютное большинство комет проходят вблизи теоретических орбит, расположенных в зоне планет земной группы. При наличии гипотетических планет на далекой периферии Солнечной системы в распределении N можно было бы ожидать наличие флуктуаций, но таковых нет.

Проблема планеты X в контексте кометной космогонии весьма привлекательна для честолюбивых исследователей. Дело в том, что в ходе решения этой комплексной задачи можно попытаться одновременно разрешить две глобальные проблемы: открыть планету и понять, как рождаются кометы. Однако увлечение данной задачей, по-видимому, мало перспективно: нет доказательств генетической связи почти параболических комет с гипотетическими транс-плутоновыми планетами.

Гипотеза реликтового происхождения комет. В современной планетной космогонии считается, что на определенном этапе эволюции Солнечной системы около протосолнца формируется дискообразная газопылевая протопланетная туманность. При столкновении пылинок, входящих в состав туманности, идет процесс аккумуляции с образованием крупных тел, называемых планетезималиями. Планетезималии — строительный материал, из которого формируются планеты. Достигнув некоторой предельной массы, планета выбрасывает сближающиеся с ней тела на орбиты с большими эксцентриситетами. Предположение о выбросе реликтовых планетезималий за пределы Солнечной системы Оорт [103, 104] положил в основу гипотезы о происхождении комет. Предполагается, что кометы образовались вместе с планетами в едином процессе и были выброшены возмущениями Юпитера на окраину Солнечной системы. Около 5 % из общего числа выброшенных тел под действием ближайших к Солнцу звезд остались двигаться вокруг Солнца на больших расстояниях, и составили так называемое облако комет. Под действием повторных возмущений звезд некоторые из этих тел опять залетают внутрь планетной системы. Приближаясь к Солнцу, они наблюдаются в виде комет. Астрофизический аспект гипотезы о реликтовой природе комет рассматривал Камерон [76], считавший, что ядра комет формируются на ранней стадии эволюции Солнечной системы из первичного протозвездного газопылевого облака. Эту гипотезу развивали Хиллс [86] и Л. М. Шульман [69].

Количественное рассмотрение процесса выброса тел проводили Оорт [103, 104], В. С. Сафронов [32], Фернандес, Ип [83]. Механизм

выброса тел гравитационными возмущениями связан с перераспределением момента количества движения. Наибольшие скорости относительно Солнца имели тела со случайными скоростями, направленными вдоль круговой орбиты в сторону вращения газопылевого диска. При сближении тела с планетой вектор его относительной скорости поворачивается без изменения величины. Абсолютная скорость увеличивается, если этот поворот происходит в направлении орбитального движения планеты. При этом возрастает момент количества движения тела относительно Солнца за счёт орбитального момента планеты. Итак, планетезимали выбрасываются преимущественно в направлении движения планеты.

Гипотетический рой комет на гелиоцентрических расстояниях около 150000 а. е. именуют облаком Оорта. Физический механизм образования этого облака не рассматривал ни Оорт, ни его последователи. Главная трудность, видимо, заключается в том, чтобы теоретически обосновать торможение кометных тел, прибывающих сюда из зоны Юпитера, и перевести их на круговые орбиты. Принципиальная трудность решения данной проблемы усугубляется двумя факторами. 1. Выбрасываемые кометные тела должны уходить из зоны Юпитера в плоскости близкой к эклиптике. При этом условии изначально облако Оорта должно иметь плоскую форму. Согласно Оорту облако имеет изотропное распределение орбитальных плоскостей. 2. Выброс Юпитером реликтовых кометных тел мог происходить только в направлении движения планеты, т. е. изначально кометные орбиты должны иметь наклоны к эклиптике $i = 0$. Однако в реальной кометной системе наклоны равновероятны, более того, преобладают кометы с обратными движениями ($i > 90$).

Гипотеза о кометном облаке возникла следующим образом. Из нескольких сотен почти параболических комет Оорт отобрал 20 первоначальных орбит, у которых обратные значения большой полуоси $1/a < 0.00075$ (а. е.)⁻¹. Для этих комет на кривой распределения $1/a$ максимум лежит в интервале $0 < 1/a < 0.00005$ (а. е.)⁻¹, где оказалось 10 комет, т. е. 50 % от всего статистического материала. Для адекватного изложения истории создания гипотезы о кометном облаке, процитируем Оорт [103]: «кривая распределения $1/a$ имеет крутой максимум на очень малых значениях. Среднее значение $1/a$ для 10 орбит в первом интервале равно 0.000018, что соответствует большой полуоси 110000 а. е. Можем сделать вывод о том, что существенная фракция долгопериодических комет должно быть прибыла из областей пространства, расположенных от $2a = 20000$ до 150000 а. е., т. е. вблизи звезд». Наличие высокого максимума в распределении $1/a$ при малых значениях — *единственный* аргумент в космогонической концепции Оорта, на основании которого высказана гипотеза кометного облака.

Литтлтон [95] указал на принципиальную ошибку при определении максимума распределения $1/a$: систематические ошибки в опре-

делении $1/a$ сравнимы с этой величиной. Он считает, что для доказательства существования облака Оорта надо показать наличие максимума афелиев на определённом расстоянии от Солнца. А. С. Гулиев и А. С. Дадашов [11] считают, что недопустимо делить ось $1/a$ на равные отрезки и подсчитывать число комет на каждом из них. В этом случае даже при равномерном распределении $1/a$ максимальное число комет обязательно придёт на отрезок вблизи $1/a = 0$. По их мнению, для корректного решения проблемы необходимо рассматривать объёмную плотность афелиев. Фернандес [84] показал, что $1/a = 0$ обеспечивает Нептун. Согласно И. Н. Потапову и Л. Е. Сухоплюевой [27] максимум при $1/a = 0$ можно обеспечить действием галактических сил.

Для статистической проверки следствий, вытекающих из реликтовой гипотезы, будем использовать 678 почти параболических комет (ППК, период $P > 200$ лет) с перигелийным расстоянием $q > 0.4$ а. е. из каталога [98]. В числе этих комет содержатся: а) долгопериодические кометы (ДПК, $P > 200$ лет, эксцентриситет $e < 1$, большая полуось $a > 0$, $N = 220$), б) параболические кометы (ПК, $e = 1$, $a = 4$, $N = 286$), гиперболические кометы (ГК, $1 < e < 1.06$, $a < 0$, $N = 172$). Для всех этих комет мы вычислили первоначальные орбиты, для чего выполнено численное интегрирование уравнений движения комет на 1000 лет назад. Вычисления проведены с применением интегратора Эверхарта и планетной эфемериды DE406. В итоге получен каталог первоначальных орбит, содержащий а) ДПК, $N = 623$, б) ГК, $N = 55$. Отметим, что в комплексе ППК преобладают параболы ($e = 1$) и гиперболы ($e > 1$). В результате численного интегрирования все параболы трансформировались в эллипсы с эксцентриситетом, очень близким к 1. Аналогично из 172 гипербол 117 (или 68 %) преобразовались в эллиптические орбиты.

Для построения кривой $1/a$ мы использовали более обширный материал. На рис. 1 представлено распределение по $1/a$ 473 первоначальных орбит на интервале $-0.0008 < 1/a < +0.00009$ (а. е.)⁻¹. Максимум распределения действительно находится на интервале $0 < 1/a < 0.00005$ (а. е.)⁻¹, но его величина существенно уменьшилась. Здесь находится 91 комета или только 19 % от всего статистического материала. Среднее значение величины $1/a$ для 91 орбиты равно 0.000029 (а. е.)⁻¹, что соответствует большой полуоси $\bar{a} = 65300$ а. е. А это значит, что следуя Оорту гипотетическое кометное облако нужно поместить ближе к Солнцу. Таким образом, гипотеза кометного облака радикально зависит от статистического материала, на базе которого она построена.

Наблюдаемое распределение ППК по $1/a$ объясняется в рамках теории захвата комет. В работах В. В. Радзиевского, В. П. Томанова [30, 31] показано, что гравитационный захват Юпитером межзвездных комет, прибывающих в Солнечную систему из апекса Солнца, возможен при условии, что скорость комет в бесконечности $V < 10$ км/с,

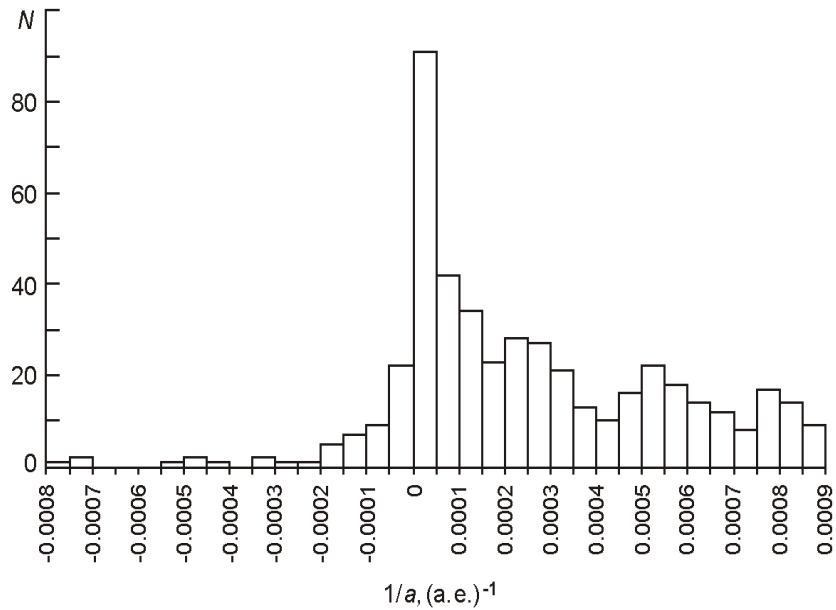


Рис. 1. Распределение кометных орбит по величине обратной большой полуоси

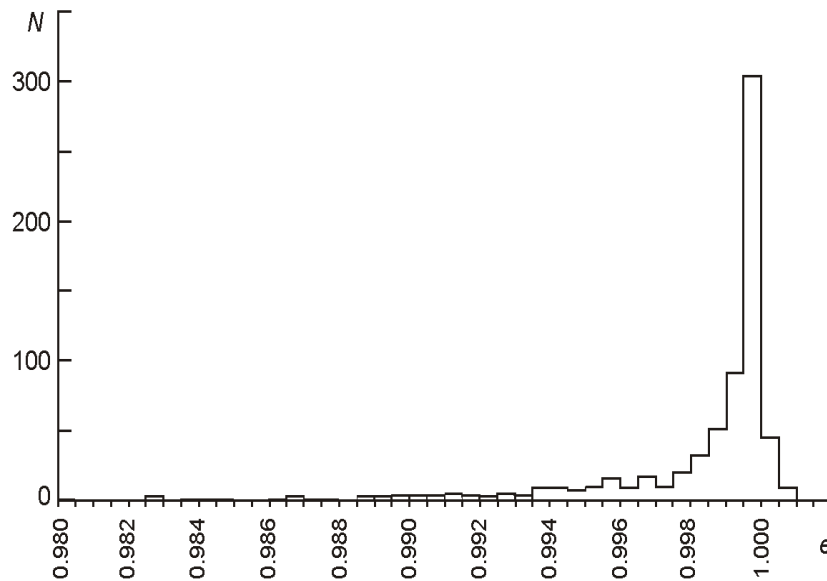


Рис. 2. Распределение по эксцентриситету первоначальных орбит ППК

а их эксцентриситет e лишь незначительно превышает 1. На выходе из сферы действия планеты образуются эллиптические орбиты с эксцентриситетом, близким к 1. Таким образом, эксцентриситеты теоретических орбит должны группироваться к 1 и иметь резкий обрыв функции распределения по e при $e > 1$. Именно таков характер распределения по эксцентриситетам имеют реальные ППК — рис. 2. Очень высокий максимум ($N = 400$) находится в интервале $0.999 < e < 1.000$.

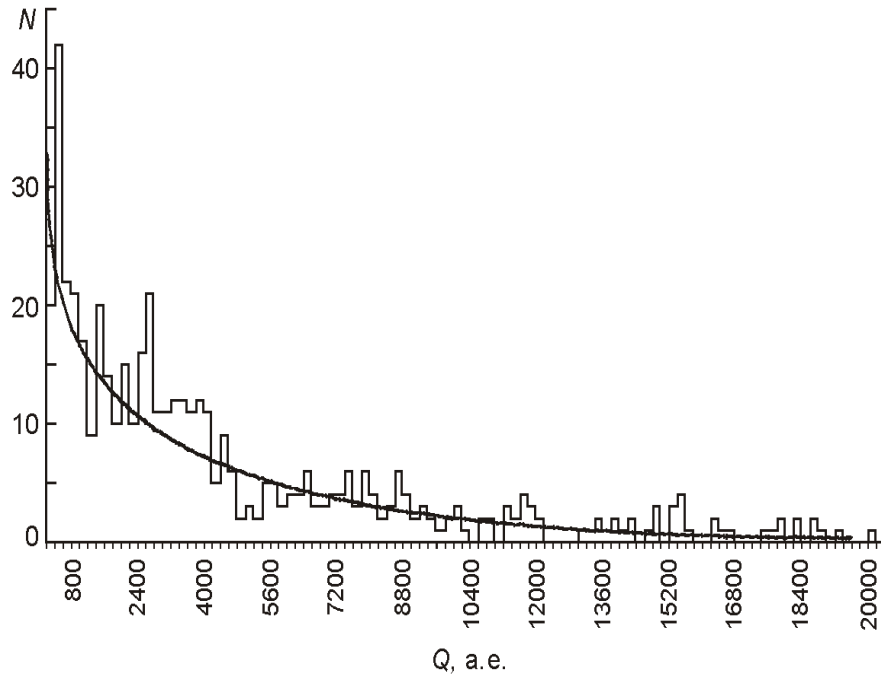


Рис. 3. Распределение кометных орбит по величине афелийного расстояния

Очевидно, что орбиты с $e \rightarrow 1$ имеют малые значения обратной большой полуоси $1/a = (1 - e)/q \rightarrow 0$. Такова, на наш взгляд, возможная причина образования высокого максимума на кривой $1/a$. При компьютерном моделировании захвата межзвездных комет в работе [55] получено хорошее согласие каталожных данных с теоретическими значениями e , $1/a$.

В соответствии с идеологией гипотезы Оорта кометные афелии должны преимущественно располагаться в кометном облаке. Следовательно, необходимо рассмотреть распределение афелийных расстояний кометных орбит Q . Всего эллиптических орбит $N = 623$. Минимальное афелийное расстояние $Q = 143$ а. е. имеет комета C/1998 K5. 488 комет имеют афелийные расстояния $Q < 20000$ а. е., их распределение по Q дано на рис. 3. В интервале 143 а. е. $< Q < 1000$ а. е. находится $N = 122$ афелия, здесь объемная плотность афелиев составляет $\rho = 2.9 \cdot 10^{-8}$ (а. е.) $^{-3}$ — табл. 3. В интервале 1000 — 5000 а. е. плотность уменьшается почти на два порядка. На интервале $10000 < Q < 20000$ а. е. содержится $N = 56$ афелиев, $\rho = 1.9 \cdot 10^{-12}$ (а. е.) $^{-3}$. Итак, система кометных афелиев начинается с гелиоцентрических расстояний $Q = 143$ а. е. Максимум кометных афелиев находится на расстояниях $Q = 150 \dots 200$ а. е. Далее объемная плотность афелиев с падает по экспоненте, на расстояниях $Q > 20000$ а. е. плотность $\rho = 0$. Согласно гипотезе Оорта наивысшая концентрация кометных афелиев прогнозируется в гипотетическом кометном облаке, расположенном

Таблица 3. Объемная плотность афелиев орбит ППК

Q , а. е.	N	, (а. е.) ⁻³
143—1000	122	$2.9 \cdot 10^{-8}$
1000—5000	220	$4.2 \cdot 10^{-10}$
5000—10000	90	$2.5 \cdot 10^{-11}$
10000—20000	56	$1.9 \cdot 10^{-12}$
20000—100000	108	$2.6 \cdot 10^{-14}$
100000—200000	23	$7.8 \cdot 10^{-16}$
>200000	4	

на гелиоцентрических расстояниях от 100000 до 150000 а. е. Реальная кометная система расположена гораздо ближе к Солнцу — рис. 3. Лишь только 27 комет (табл. 3) могли иметь афелийные расстояния $Q > 100000$ а. е.

Для косвенного подтверждения существования облака Оорта разделил кометы по величине $1/a$ на «новые» и «старые». Однако согласно работе Кресака [90] это деление не подтверждается физическими исследованиями: и те, и другие показывают огромное разнообразие в строении ядер, химизме, хвостах и т. д. Сравнение спектров «молодых» и «старых» комет произведено Оортом для 11 комет и поэтому не представляется убедительным. В работе А. С. Гулиева и А. С. Дадашова [11] показано, что средние значения абсолютной звёздной величины для «новых» и «старых» комет практически одинаковы. Сделан вывод о необоснованности дифференциации комет на новые и старые.

Во многих работах рассматривается эволюция облака Оорта и, как правило, делается вывод о полном или частичном разрушении облака за космогонически короткое время. С. К. Всехсвятский [3, 5] отметил произвольность и искусственность функции распределения скоростей комет в облаке, показал, что звёздные возмущения должны приводить к появлению в значительном количестве гиперболических скоростей у комет, направляющихся к Солнцу. Отсутствие таковых ставит под сомнение либо роль звёздных возмущений, либо факт существования кометного облака. С. К. Всехсвятский пришёл к выводу, что кометы облака должны быть выброшены в межзвёздное пространство. Эти результаты подтвердил Вейсман [114].

В. М. Чепурова и С. Л. Шершкина [66] исследовали влияние на облако Оорта галактического гравитационного поля, а также близких прохождений звезды или облака молекулярного водорода, и показали, что внешняя часть облака должна покинуть Солнечную систему. Сделан вывод о том, что облако не может являться долговременным источником долгопериодических комет в Солнечной системе. О. А. Мазеева [20] показала, что наиболее многочисленный приток в планетную область и выброс за пределы облака Оорта происходит,

если Солнечная система проходит через гигантское молекулярное облако, состоящее из нескольких массивных конденсаций.

Из численного моделирования Бейли [72] получил, что большинство комет облака будет выброшено из Солнечной системы, а выживет только малое их число. В. А. Антонов и З. П. Тодрия [2] оценили влияние иррегулярных сил Галактики на движение долгопериодических комет: кумулятивный эффект возмущает орбиты комет гораздо сильнее, чем одиночные звёзды и межзвёздные облака.

Исследовав идею разрушения облака кумулятивным эффектом [72] и приливными силами со стороны молекулярных облаков [115], авторы делают однозначный вывод: кометного облака в настоящее время нет. Феллгетт [82] в письме в редакцию выражает резкий протест против использования термина «облако Оорта», так как его существование не доказано.

Хиллс [87] полагает, что кометы сформировались во внешних частях коллапсирующего протосолнца, которое имело радиус менее 5000 а. е. На этой основе возникает гипотеза об ещё одном кометном облаке, расположенном около внутреннего края облака Оорта. Этот кометный рой стали именовать облаком Хиллса. По мнению Хиллса, общее число комет, которое вошло в Солнечную систему из этого облака, на порядок больше, чем число комет, которое пришло из облака Оорта.

Видоизменённый вариант гипотезы о реликтовом происхождении комет предложен в публикациях Ф. А. Цицина, В. М. Чепуровой, А. С. Расторгуева [58—62, 65]. Суммируя основные результаты данных публикаций, можно видеть, что они сводятся к декларированию следующих постулатов: 1) кометы суть реликтовые пылевые сгустки — планетезимали; 2) планетезимали сохранились до настоящей эпохи в поясах между планетами-гигантами и за Нептуном; 3) около орбит планет-гигантов существуют «пустые» туннели — тороидальные области с радиусом около 1 а. е., в которых планетезимали отсутствуют; 4) межпланетные пояса — источники современных короткопериодических комет; 5) занептунный пояс — источник долгопериодических комет; 6) планеты-гиганты выбросили планетезимали «в Галактику»; 7) почти параболические кометы — планетезимали, возвратившиеся из Галактики в зону планет-гигантов.

Основополагающий постулат о тождественности планетезималей и кометных ядер, по нашему мнению, является ошибочным. Произведена молчаливая подмена понятий — без физико-химического обоснования планетезималь названа расплывчатым термином «кометное тело». Не обсуждается сложная астрофизическая проблема коагуляции ледяного кометного ядра. Авторы гипотезы должны были бы ответить на вопрос: как из пылевого сгустка образуется ледяное кометное ядро.

Для статистической проверки модернизированной гипотезы о реликтовом происхождении комет используем 947 комет из каталога

[98], в том числе: а) короткопериодические кометы (КПК, период $P < 200$ лет, $N = 193$); б) долгопериодические кометы (ДПК, $P > 200$, эксцентриситет $e < 1$, большая полуось $a > 0$, $N = 226$); г) гиперболические кометы (ГК, $e > 1$, $a < 0$, $N = 151$).

Предположив наличие реликтовых планетезималей в межпланетных поясах в современную эпоху, авторы гипотезы постулируют, что КПК вышли на наблюдаемые орбиты из этих поясов в результате взаимных столкновений. Но столкновительный механизм в данном случае вряд ли будет работать. Поскольку в протопланетном диске устанавливаются почти круговые движения, то столкновения маловероятны. Взаимный энергетический обмен догоняющих тел будет незначительным. Гипотеза выброса КПК из межпланетных поясов может быть подвергнута эмпирической проверке. Если допустить, что КПК вышли на наблюдаемые орбиты из межпланетных поясов, то узлы, как точки пересечения кометных орбит с плоскостью эклиптики, должны быть сосредоточены именно в этих поясах. Число N всех типов кометных орбит (КПК, ДПК, ПК, ГК), пересекающих пояса и туннели на гелиоцентрических расстояниях $4 \text{ а. е.} < R < 50 \text{ а. е.}$ представлено в табл. 4. Здесь же дана плотность $\rho = N / (R_2^2 - R_1^2)$ узлов в соответствующих зонах на эклиптике. Как видно, плотность всех типов орбит возрастает от периферии к центру. Узлов КПК в поясе Койпера и в туннеле Нептуна нет. Через пояс Уран — Нептун проходили всего две кометы. Одинаковое число КПК ($N = 16$) проходило через пояс Юпитер — Сатурн и туннель Сатурна. «Пустой» туннель Юпитера плотно заполнен кометными ядрами — здесь пролегают пути 119 комет, или 62 % от общего числа КПК, $\rho = 1.89 \text{ (а. е.)}^{-2}$. Итак, гипотеза о пустых туннелях и скоплениях КТ между планетами-гигантами не подтверждается наблюдаемым реальным распределением орбит КПК.

В системе КПК существует четыре кометы с обратным движением 38P/1867 В1 ($P = 33$ года, $i = 162^\circ$), C/1827 М1 ($P = 57$ лет, $i = 136^\circ$), 1P/-239 К1 ($P = 76$ лет, $i = 162^\circ$), 109P/-68 Q1 ($P = 120$ лет, $i = 114^\circ$).

Таблица 4. Узлы кометных орбит в зонах планет-гигантов

Зона на эклиптике	R , а. е.	КПК		ДПК		ПК		ГК	
		N	ρ , (а. е.) ⁻²	N	ρ , (а. е.) ⁻²	N	ρ , (а. е.) ⁻²	N	ρ , (а. е.) ⁻²
Туннель Юпитера	4—6	119	1.89	42	0.67	27	0.43	28	0.45
Пояс Юпитер—Сатурн	6—8	16	0.18	21	0.24	15	0.17	16	0.18
Туннель Сатурна	8—11	16	0.09	19	0.11	19	0.11	12	0.07
Пояс Сатурн—Уран	11—18	10	0.016	23	0.036	28	0.044	18	0.028
Туннель Урана	18—20	0	0	5	0.021	8	0.034	1	0.004
Пояс Уран—Нептун	20—29	2	0.001	9	0.006	18	0.013	15	0.011
Туннель Нептуна	29—31	0	0	0	0	5	0.013	1	0.003
Пояс Койпера	31—50	0	0	10	0.002	11	0.002	9	0.002

Объяснить обратное движение данных комет как результат взаимных столкновений планетезималей в межпланетном поясе вряд ли возможно, поскольку постулируется, что все объекты пояса двигаются только в прямом направлении.

Местом «рождения» ДПК, согласно работе Ф. А. Цицина [59], является пояс Койпера: «Именно он может быть источником (путем столкновений кометных тел) долгопериодических комет». Аргументации в пользу данного предположения не приводится. Не сделана оценка вероятности столкновений, не анализируется механика и энергетика столкновений, нет сравнения с наблюдениями. Если кометные ядра вытолкнуты из пояса Койпера, то узлы кометных орбит должны находиться в этой же зоне. Однако занептунный пояс пересекают только 10 ДПК (табл. 4), или 4 % от всего комплекса ДПК ($N = 226$). Среди десятка комет есть три кометы с обратным движением: C/1873Q1, $i = 96.0^\circ$; C/1887B2, $i = 104.3^\circ$; C/1987U3, $i = 97.1^\circ$. Невозможно за счет столкновений в протопланетном диске перебросить его фрагменты на орбиты указанных комет. Напомним, что в протопланетном диске планетезимали должны двигаться по круговым орбитам прямым движением. Орбиты трех названных комет почти перпендикулярны к эклиптике ($96^\circ < i < 104^\circ$).

Предложить какие-то доказательства происхождения ДПК в поясе Койпера, видимо, невозможно. И тогда выдвигается версия, что якобы уже существует «собственная гипотеза Радзиевского о происхождении долгопериодических комет именно там, где потом обнаружили пояс Уиппла — Койпера» [59]. На самом деле В. В. Радзиевский [29] создал гипотезу о происхождении комет путем извержения ледяной коры гипотетическими планетами, движущимися около галактической плоскости на гелиоцентрических расстояниях 150—160 а. е. Таким образом, гипотеза В. В. Радзиевского никакого отношения к поясу Койпера не имеет.

Гипотеза выброса планетезималей из Солнечной системы в изложении Ф. А. Цицина, В. М. Чепуровой, А. С. Расторгуева [60—62] выглядит следующим образом: «По данным планетной космогонии в ходе эволюции протопланетного облака образуется диск планетезималей, в горячей внутренней зоне — астероидного, в холодной внешней — кометного состава и размеров. Как полагают, позже не вошедшие в состав планет кометные тела (КТ) планетными возмущениями были выброшены из Солнечной системы». В космогонический сценарий включен акт массивованного выброса планетезималей за пределы Солнечной системы или, по терминологии авторов, «в Галактику». В акт накачки КТ «в Галактику» включены и другие звезды. Предполагается, что «должно существовать «общегалактическое кометное облако», сформировавшееся в результате выброса КТ из Солнечной и из других звездных систем»; объемная плотность КТ в облаке огромна, а Галактика — «нечто вроде густого «кометного киселя», в который изредка вкраплены звезды». Итак, нам предлагается «новый взгляд» на Галактику как на «кометный кисель».

Выброс планетезималей гравитационными возмущениями планет-гигантов мог происходить только в направлении вращения облака. Оорт полагает, что кометы уходят от Солнца на расстояние не далее, чем 100—150 тыс. а. е., где тормозятся звездными возмущениями, и здесь же формируется кометное облако. Согласно работе Ф. А. Цицина [59] кометы преодолевают гравитационный звездный барьер за облаком Оорта, далее пересекают поверхность Хилла (поверхность отражения) и уходят до расстояний 20—30 пк. Исследование вопроса о возможных движениях комет на больших гелиоцентрических расстояниях дано в работе Г. А. Чеботарева [63]. В рамках ограниченной задачи трех тел (Солнце — ядро Галактики — комета) показано, что область реальных движений кометы ограничена поверхностью нулевой относительной скорости (поверхность Хилла). Радиус сферы Хилла составляет 230000 а. е. для гелиоцентрического движения комет с прямым движением и 100000 а. е. для случая обратного движения. Итак, строгие расчеты свидетельствуют о несостоятельности гипотезы выброса комет «в Галактику».

Вопрос о происхождении почти параболических комет (ППК) решен также весьма просто: ППК — это планетезимали, выброшенные из зоны планет-гигантов «в Галактику» и вернувшиеся опять в эту же зону. Кометные тела, согласно работе [59], возвращаются «в область выброса в зоне планет-гигантов и еще ближе к Солнцу. Это и есть аperiодические кометы». Действительно, в отсутствие возмущений, комета при каждом обращении должна проходить через место своего рождения. Однако, как видно из табл. 4, зону Юпитера ($4 \text{ а. е.} < R < 6 \text{ а. е.}$) пересекали лишь 27 ПК, или 7 % от всех почти параболических комет.

В анализируемой космогонической модели предполагается из выбрасываемых в Галактику реликтовых планетезималей получить реальные почти параболические кометы. Но для этого планетезимали необходимо сначала затормозить, а затем вернуть во внутреннюю область Солнечной системы. С этой целью вводится экзотическая гипотеза торможения комет с помощью гуковских сил. Конкретный реальный носитель гуковской силы не указан, лишь обозначен мифическим термином «гуковское тело». Торможение якобы осуществляет гипотетическое поле: «Поле Гука отражает объект к источнику» [59]. Подчеркнем, что до сих пор в небесной механике успешно обходились без введения в соответствующие дифференциальные уравнения какого-либо дополнительного члена, учитывающего гуковскую силу.

Если считать почти параболическими кометы, вернувшиеся из-за пределов Солнечной системы, то в комплексе ППК должны быть и межзвездные кометы. Прочитируем Цицина [59]: «Почему мы не видим «чужие» (с эксцентриситетом $e \gg 1$) кометы? ... количество «чужих» кометных тел может быть много больше, чем своих. Почему мы не видим их? Ответ прост... чужие почти не испытывают гравитационной фокусировки к Солнцу. Свои же в полной мере подвержены ей».

Фактически имеет место обратная ситуация. Гравитационной фокусировке подвержены лишь объекты, движущиеся по гиперболам ($e > 1$). Напомним, что гравитационная фокусировка есть свойство гравитирующего объекта отклонять проходящий мимо него поток частиц или излучения и фокусировать его вдоль антиапексиального луча. Бессмысленно говорить о гравитационной фокусировке применительно к эллиптическим орбитам. «Свои» кометы двигаются по эллиптическим орбитам. Гравитационная фокусировка могла бы направить межзвездную комету в зону видимости. Тем не менее, за всю историю астрономических наблюдений не обнаружено ни одной межзвездной кометы.

Резюмируя, можно констатировать, что ни один факт не подтверждает модернизированную гипотезу о реликтовом происхождении комет. Основные постулаты гипотезы сформулированы *ad hoc*. При построении гипотезы авторы игнорируют принципы теории познания — от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике. Авторы не опираются на наблюдения, не используют данные кометных каталогов, не пытаются объяснить известные закономерности в кометной системе.

Подводя итоги, отметим основные аргументы, показывающие несостоятельность гипотезы о реликтовом происхождении комет.

1. Постулат о тождественности реликтовых планетезималей и современных кометных ядер за более чем полувековую историю реликтовой гипотезы не получил астрофизического обоснования.

2. Неправдоподобность версии о кометном «облаке» на далёкой периферии Солнечной системы. Доказательств существования этого облака нет. Кривая распределения комет по значениям $1/a$ получена некорректно. Идея «облака» возникла в результате безальтернативной интерпретации кривой $1/a$.

3. Параметры гипотетической кометной системы не согласуются с наблюдениями. На основании постулата о выбросе реликтовых планетезималей планетами-гигантами гипотетическая кометная система должна концентрироваться к плоскости эклиптики, а кометы должны иметь только прямые движения. Но орбиты реальных почти параболических комет имеют изотропное пространственное распределение, в распределении по наклонам преобладают кометы с обратным движением. В распределении комет по величине объёмной плотности афелиев имеется максимум на гелиоцентрическом расстоянии 150—200 а. е. С увеличением расстояния в направлении «облака» плотность афелиев резко падает.

4. Безосновательна версия о реликтовых межпланетных резервуарах кометных ядер как источника короткопериодических комет.

5. Выброс реликтовых кометных тел из зоны планет-гигантов за пределы сферы Хилла, «в Галактику», и последующее их возвращение в Солнечную систему в виде почти параболических комет — явление из разряда абсолютно невероятных.

Феллгетт [82] указал, что концепция кометного облака основана на рассуждениях, нарушающих требования научной методологии — требовании минимальности специальных гипотез.

Подводя общий итог, отметим следующее. От самых истоков кометной космогонии ведёт начало проблема короткопериодических комет (КПК). Лаплас и его последователи Тиссеран, Калландро, Г. Ньютон, Шульгоф заложили основы теории захвата долгопериодических комет на короткопериодические орбиты в результате тесных сближений комет с Юпитером. За 200 лет научной кометной космогонии опубликованы сотни работ по проблеме захвата КПК. В настоящее время, видимо, общепризнано, что КПК — продукт гравитационного захвата планетами-гигантами из поля долгопериодических комет.

Глобальной проблемой современной кометной космогонии является вопрос о происхождении долгопериодических и почти параболических комет (ППК). Теоретически сложность проблемы происхождения ППК усугубляется тем обстоятельством, что в последние годы комплекс ППК фактически удвоился за счёт открытия короткопериодических комет ($q < 0.01$ а. е.). «Царапающие» кометы приходят к Солнцу из общего радианта по ветви параболы, практически вырожденной в прямую. Эта особая фракция ППК нуждается в дополнительном космогоническом осмыслении.

При решении сложных космогонических проблем принципиальное значение имеет выбор необходимого метода исследования, согласно В. Г. Фесенкову [57]: «Математический анализ имеет в космогонии по необходимости второстепенное значение и может применяться лишь частично. Метод космогониста есть метод следопыта, который на основании отдельных, иногда едва уловимых признаков пытается создать картину событий, имевших место в прошлом. Таким образом, всякая космогоническая теория всегда является неполной, возможно даже внутренне противоречивой. Дальнейшая работа должна постепенно выявить и устранить её недостатки. Наиболее важное значение в космогонии имеет не выработка частных, но правильный выбор направления исследований».

1. Альвен Х., Аррениус Г. Эволюция солнечной системы. — М.: Мир, 1979.—511 с.
2. Антонов В. А., Тодрия З. П. Движение долгопериодических комет в возмущающем поле Галактики. Иррегулярные силы // Астрон. журн.—1987.—64, № 5.— С. 1094—1104.
3. Всехсвятский С. К. Замечания к работам Оорта, посвящённым вопросам происхождения и эволюции комет // Астрон. журн.—1954.—31, № 6.— С. 537—543.
4. Всехсвятский С. К. Природа и происхождение комет и метеорного вещества. — М.: Просвещение, 1967.—183 с.
5. Всехсвятский С. К. Об облаке Оорта // Астрометрия и астрофизика.—1969.— Вып. 4.—С. 207—208.

6. Горшкова О. А., Кузьмичев В. В. Космогонические закономерности в комплексе короткопериодических комет // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—**22**, № 3.—С. 208—218.
7. Гулиев А. С. О возможности существования в зоне Нептун — Плутон неизвестной планеты // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—**3**, № 2.—С. 28—33.
8. Гулиев А. С. О возможности существования двух трансплутоновых планет // Письма в Астрон. журн.—1992.—**18**, № 2.—С. 183—189.
9. Гулиев А. С. Об одном трансплутоновом планетном семействе // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—**11**, № 2.—С. 44—46.
10. Гулиев А. С. Результаты исследования узловых расстояний долгопериодических комет // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—**12**, № 1.—С. 85—92.
11. Гулиев А. С., Дадашов А. С. О гипотезе Оорта // Кинематика и физика небес. тел.—1985.—**1**, № 6.—С. 82—87.
12. Гулиев А. С., Дадашов А. С. О трансплутоновых кометных семействах // Астрон. вестн.—1989.—**23**, № 1.—С. 88—95.
13. Давыдов В. Д. О возможном механизме происхождения периодических комет // Космич. исслед.—1981.—**19**, № 5.—С. 749—762.
14. Дробышевский Э. М. Крупномасштабная электрохимия в ледяных луноподобных телах и природа малых тел Солнечной системы. — 1984.—22 с.—(Препринт / Физико-технический институт, № 897).
15. Казимирчак-Полонская Е. И. Захват планет Юпитером и некоторые закономерности в вековой эволюции кометных орбит // Проблемы исслед. Вселенной.—1978.—№ 7.—С. 340—383.
16. Константинов Б. М., Бредов М. М., Белявский А. Н., Соколов И. А. О возможной антивещественной природе микрометеоров // Космич. исслед.—1966.—**4**, № 1.—С. 66—73.
17. Кресак Л. Спутники Урана и гипотеза извержения комет // Астрон. вестн.—1983.—**17**, № 1.—С. 27—31.
18. Кузьмичев В. В. Космогонические закономерности в комплексе почти параболических комет // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—**19**, № 6.—С. 523—533.
19. Кузьмичев В. В., Томанов В. П. Поиски транслутоновых планет с помощью долгопериодических комет // Письма в Астрон. журн.—2006.—**32**, № 5.—С. 392—400.
20. Мазеева О. А. Роль гигантских молекулярных облаков в эволюции кометного облака Оорта // Астрон. вестн.—2004.—**38**, № 4.—С. 372—382.
21. Маковер С. Г. К вопросу о происхождении короткопериодических комет // Бюл. Ин-та теор. астрон.—1967.—**11**, № 2 (125).—С. 123—126.
22. Мультион Ф. Р. Эволюция Солнечной системы. — Одесса, 1908.—206 с.
23. Науменко Б. Н. О заплутоновых планетах в Солнечной системе // Астрон. циркуляр.—1982.—№ 1217.—С. 6—8.
24. Николаева М. В., Томанов В. П. Распределение орбит в гипотезе извержения комет // Астрон. циркуляр.—1984.—№ 1306.—С. 1—4.
25. Николаева М. В., Томанов В. П. О гипотезе извержения комет из спутников Сатурна, Урана и Нептуна // Структура и эволюция космогонических объектов. — Алма-Ата, 1987.—**48**.—С. 149—156.
26. Орлов С. В. Эволюция и происхождение комет // Астрон. журн.—1939.—**16**, № 1.—С. 3—27.
27. Потанов И. Н., Сухоплюева Л. Е. Влияние ядра Галактики на распределение

- перигелиев долгопериодических комет // Методы исследования, движения, физика и динамика малых тел Солнечной системы. — Душанбе, 1989.—С. 58.
28. *Радзиевский В. В.* Небесно-механические аспекты гипотезы извержения // Астрон. вестн.—1979.—**13**, № 1.—С. 32—41.
29. *Радзиевский В. В.* Происхождение и динамика кометной системы // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—**3**, № 1.—С. 66—77.
30. *Радзиевский В. В., Томанов В. П.* О захвате комет по схеме Лапласа // Астрон. журн.—1977.—**54**, № 2.—С. 388—397; № 4.—С. 890—896.
31. *Радзиевский В. В., Томанов В. П.* Статистические следствия захвата комет по схеме Лапласа // Астрон. журн.—1977.—**54**, № 4.—С. 890—896.
32. *Сафронов В. С.* Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. — М.: Наука, 1969.—24 с.
33. *Томанов В. П.* Зависимость наклонности кометных орбит от долготы восходящего узла // Астрон. журн.—1975.—**52**, № 6.—С. 1332—1333.
34. *Томанов В. П.* Апекс Солнца относительно протокометного облака // Астрон. журн.—1976.—**53**, № 3.—С. 647—654.
35. *Томанов В. П.* Об асимметрии в распределении перигелиев кометных орбит // Астрон. журн.—1977.—**54**, № 6.—С. 1346—1348.
36. *Томанов В. П.* Распределение перигелиев 110 близпараболических комет // Астрон. журн.—1979.—**56**, № 5.—С. 1122—1123.
37. *Томанов В. П.* Эволюция размеров и форм кометных орбит при наличии сопротивляющейся среды // Астрон. журн.—1980.—**57**, № 2.—С. 372—377.
38. *Томанов В. П.* О происхождении короткопериодических комет // Кометы и метеоры.—1980.—№ 28.—С. 26—32.
39. *Томанов В. П.* К вопросу захвата комет Юпитером // Астрон. журн.—1980.—**57**, № 4.—С. 816—823; 1981.—**58**, № 2.—С. 408—415.
40. *Томанов В. П.* Замечание по гипотезе извержения комет // Определение координат небесных тел. — Рига, 1981.—С. 55—60.
41. *Томанов В. П.* К вопросу захвата комет Юпитером // Астрон. журн.—1981.—**58**, № 2.—С. 408—415.
42. *Томанов В. П.* О тесных сближениях комет с Юпитером // Астрон. циркуляр.—1982.—№ 1224.—С. 1—3.
43. *Томанов В. П.* Существует ли семейство короткопериодических комет Сатурна? // Астрон. циркуляр.—1983.—№ 1254.—С. 4—6.
44. *Томанов В. П.* О семействе комет Урана // Динамика галактических и внегалактических систем. — Алма-Ата, 1983.—С. 98—103.
45. *Томанов В. П.* О гипотезах захвата и извержения комет // Астрон. вестн.—1983.—**17**, № 1.—С. 35—42.
46. *Томанов В. П.* О критике теории захвата комет // Астрон. журн.—1983.—**58**, № 2.—С. 408—415.
47. *Томанов В. П.* О межзвездном происхождении комет // *Астрономический календарь* — 1987. — М: Наука, 1986.—С. 165—171.
48. *Томанов В. П.* *Кометная космогония.* — Вологда, 1989.—96 с.
49. *Томанов В. П.* Статистическая проверка гипотезы извержения комет // Астрон. вестн.—1991.—**25**, № 3.—С. 312—316.
50. *Томанов В. П.* О происхождении комет: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М.: МГУ, 1992.—29 с.
51. *Томанов В. П.* О связи комет с планетами // Кинематика и физика небес. тел.—2007.—**23**, № 5.—С. 273—285.

52. *Томанов В. П., Калининчева О. В.* Гипотетические планеты и происхождение комет. — С-Пб: Глаголь, 1999.—32 с.—(Препринт / РАН, Глав. астрон. обсерватория; № 15).
53. *Томанов В. П., Калининчева О. В.* О несостоятельности гипотезы Радзиевского о происхождении комет // Четвертые Всехсвятские чтения. — Киев, 2000.— С. 36—37.
54. *Томанов В. П., Кузьмин С. В.* Аргументы в пользу реальности трансеплутоновой планеты // Астрон. циркуляр.—1989.—№ 1540.—С. 25.
55. *Томанов В. П., Кузьмин С. В., Аксеновский А. Г.* Захват межзвездных комет // Астрон. вестн.—1994.—**28**, № 2.—С. 83—94.
56. *Томанов В. П., Радзиевский В. В.* О распределении узлов и полюсов орбит долгопериодических комет // Астрон. вестн.—1975.—**9**, № 1.—С. 35—40.
57. *Фесенков В. Г.* Постановка проблемы космогонии в современной астрономии // Астрон. журн.—1949.—**26**, № 2.—С. 102—118.
58. *Цицин Ф. А.* Загадка происхождения комет: новый взгляд? // Астрономический календарь — 1994. — М.: Наука, 1993.—С. 207—219.
59. *Цицин Ф. А.* Происхождение комет: новый взгляд на старую проблему // Земля и Вселенная.—1999.—№ 1.—С. 60—69.
60. *Цицин Ф. А.* Проблемы изучения кометно-астероидного материала за орбитой Юпитера // Околосолнечная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. — М.: Космоинформ, 2000.—С. 28—42.
61. *Цицин Ф. А., Расторгуев А. С., Чепурова В. М.* Динамическая эволюция космогонически исходного ансамбля кометных тел Солнечной системы // Астрон. циркуляр.—1985.—№ 1408.—С. 5—8.
62. *Цицин Ф. А., Чепурова В. М., Расторгуев А. С.* Кометы и Галактика // Астрон. циркуляр.—1984.—№ 1310.—С. 5—6.
63. *Чеботарев Г. А.* О границах Солнечной системы // Астрон. журн.—1964.— № 5.—С. 983—989.
64. *Чеботарев Г. А.* Поиски трансеплутоновых планет с помощью периодических планет // Бюл. Ин-та теор. астрономии.—1972.—**13**, № 3.—С. 145—147.
65. *Чепурова В. М., Расторгуев А. С., Цицин Ф. А.* О возможном источнике короткопериодических комет // Астрон. циркуляр.—1985.—№ 1378.—С. 1—4.
66. *Чепурова В. М., Шершукина С. Л.* Влияние сильнодействующих взаимодействий на эволюцию внешних слоев облака Оорта // Кинематика и физика небес. тел.—1989.—**5**, № 4.—С. 3—7.
67. *Шмидт О. Ю.* О происхождении комет // Докл. АН СССР.—1945.—**49**, № 6.— С. 413—416.
68. *Шульман Л. М.* О невозможности образования комет по схеме Литтлтона // Астрометрия и астрофизика.—1980.—Вып. 40.—С. 69—73.
69. *Шульман Л. М.* Состав кометного ядра. Космогонический подход. — М., 1983.—19 с.—(Препринт / АН СССР, Ин-т космич. исслед.).
70. *Шульман Л. М.* Ядра комет. — М.: Наука, 1987.—230 с.
71. *Anderson.* NASA scientist believes a tenth planet may exist in Solar system // Space Age News.—1987.—**14**, N 5.—С. 22—23.
72. *Bailey M. E.* The mean energy transfer rate to comets in the Oort cloud and implications for cometary origins // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1986.—**218**, N 1.— P. 1—30.
73. *Bailey M. E., Stagg C. R.* Cratering constraints on the inner Oort cloud: Steady — state model // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1988.—**235**, N 1.—P. 1—32.

74. *Calladorean C.* Etude sur la theorie des cometes periodiques // *Ann. Obs. Paris. Mem.*—1892.—**20**.—P. 1—64.
75. *Cameron A. C. W.* Accumulation process in the primitive Solar Nebula // *Icarus.*—1973.—**18**, N 3.—P. 377—456.
76. *Cameron A. C. W.* Formation of the Solar Nebula // *Icarus.*—1963.—**18**, N 1.—P. 339—342.
77. *Carussi A., Valsecchi G.* Dynamical evolution of short-period comets // *Publ. Astron. Inst. Czech. Acad. Sci.*—1987.—N 67.—P. 21—28.
78. *Corlin A.* On the origin of comets // *Bergetrand Festrift.*—1938.—P. 277—280.
79. *Everhart E.* The origin of short-period comets // *Astrophys. Lett.*—1972.—**10**.—P. 131—135.
80. *Everhart E.* The evolution of comet orbits // *IAU Coll.*—1976.—N 25.—P. 445—461.
81. *Fayet E.* // *Comptes rendus Acad. Sci.*—1886.—**106**.—P. 1073—1080.
82. *Fellgett P.* Origin and nature of comets // *Observatory.*—1977.—**97**, N 1016.—P. 23—25.
83. *Fernandez J. A., Ip W.-H.* On the time evolution of the cometary influx in the region of the terrestrial planets // *Icarus.*—1983.—**54**, N 3.—P. 377—387.
84. *Fernandez S. A.* The formation and dynamical survival of the comet cloud // *Dyn. Comets Origin and Evol.: Proc. 83 Colloq., Rome, 11—15 June 1984.* — Dordrecht: e. a., 1985.—P. 45—70.
85. *Gauss K.* Göttingische gelehrte Anzeigen.—1813.—**8**.—S. 873—880.
86. *Hills J. G.* On the process in the formation of the planets and comets // *Icarus.*—1973.—**18**, N 3.—P. 505—522.
87. *Hills J. G.* Comet showers and the steady-state infall of comets from the Oort cloud // *Astron. J.*—1981.—**86**, N 11.—P. 1730—1740.
88. *Hills J. G.* The formation of comets by radiation pressure in the outer protosun // *Astron. J.*—1982.—**87**, N 6.—P. 906—910.
89. *Kamienski M.* Orbits komety Wolf 1 i jej quasi-fluktuacje // *Postepy astronomi.*—1954.—**2**, N 3.—P. 137—143.
90. *Kresak L.* The bias of the distribution of cometary orbits by observation selection // *Bull. Astron. Inst. Czech.*—1975.—**26**, N 2.—P. 92—111.
91. *Kuiper G. P.* On the origin of the Solar system // *Astrophysics* / Ed. by J. A. Hynek. — McCraw-Hill, Co. Inc., 1951.—P. 357—424.
92. *Lagrange J. L.* Sur l'origine des cometes. *Mem. VII. Paris.*—1812.—P. 381—395.
93. *Laplace P. S.* Exposition du systeme du monde. — Paris: Imprimerie du Cercle-Social, 1796.
94. *Lyttleton R. A.* On the origin of comets // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1948.—**108**.—P. 465—475.
95. *Lyttleton R. A.* The comets and their origin. — Cambridge: Univ. Press, 1953.—143 p.
96. *Lyttleton R. A.* On the distribution of semimajor axis long-period comets // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1968.—**139**, N 2.—P. 225—230.
97. *Marsden B. G., Sekanina Z.* On the distribution of “original” orbits of comets of large perihelion distance // *Astron. J.*—1973.—**78**, N 10.—P. 1118—1124.
98. *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**, N 1.—P. 64—71.
99. *Marsden B. G., Williams G. V.* Catalogue of cometary orbits. — 15th ed. — Cambridge, MA: Smithsonian Astrophys. Observ., 2003.—152 p.
100. *Matese J. J., Whitman P. G., Whitmire D. P.* Cometary evidence of a massive body in

- the outer Oort cloud // *Icarus*.—1999.—**141**, N 2.—P. 354—366.
101. *Newton H. A.* On the origin of comets // *Amer. J. Sci. and Arts. New Haven. Conn.*—1878.—Ser. 3. 16 (116).—P. 165—179.
102. *Newton H. A.* On the capture of comets // *Mem. Nat. Acad. Sci.*—1891.—**1**.—P. 55—63.
103. *Oort J. H.* The structure of the cloud of comets surrounding the Solar system and a hypothesis concerning it's origin // *Bull. Astron. Inst. Neth.*—1950.—**11**.—P. 91—110.
104. *Oort J. H.* Origin and development of comets // *Observatory*.—1951.—**71**.—P. 120—147.
105. *Ridley H. B.* Comets. Presidential address-1977 // *J. Brit. Astron. Assoc.*—1978.—**88**, N 3.—P. 326—347.
106. *Safronov V. S.* Ejection of bodies from the Solar system in the course of the accumulation of the giant planets and the formation of the cometary cloud // *The motion, evolution of orbits and origin of comets / Eds G. A. Chebotarev et al. — Dordrecht: Reidel, 1972.*—P. 329—334.
107. *Schiaparelli G. V.* Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschuppen // *Siebente Note.*—1871.—S. 261.
108. *Schuette C. H.* Two new families of comets // *Pop. Astron.*—1949.—**57**, N 4.—P. 176—182.
109. *Schulhof L.* Sur les grandes perturbations des cometes periodiques // *Bull. Astron. Paris.*—1891.—**8**.—P. 147—157.
110. *Schütte K.* Drei weitere Mitglieder der Transplutokometenfamilie // *Acta Astronomica.*—1965.—**15**, N 1.—P. 11—13.
111. *Tancredi G., Rickman H.* The evolution of Jupiter family comets over 2000 years // *Chaos. Resonance and Collective Dynamical Phenomena in the Solar System: Proceedings of IAU Symposium 152 / Ed. by S. Ferraz-Mello.*—Kluwer Acad. Press, 1992.—V. **152**.—P. 269—274.
112. *Tisserand F. F.* Sur la theorie de la capture des cometes // *Bull. Astron. Paris.*—1889.—**6**.—P. 241—257, 289—292.
113. *Tisserand F. F.* *Traité de mecanique celeste.* — Paris: Gauthier-Villars, 1896.—**4**, N 12.—P. 198—216.
114. *Weissman P. R.* Stellar perturbations of the cometary cloud // *Nature.*—1980.—**288**, N 5788.—P. 242—243.
115. *Van den Bergh S.* Giant molecular clouds and the Solar system comets // *J. Roy. Soc. Astron. Soc. Can.*—1982.—**76**, N 5.—P. 303—308.

Поступила в редакцию 25.05.07