

УДК 523.64, 523.532

**А. С. Гулиев**

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси  
Национальной академии наук Азербайджана  
Пос. Мамедалиева, Шамахинский район, Азербайджан  
quliyevayyub@gmail.com

### **Столкновение с метеороидами как один из возможных механизмов распада кометных ядер**

*Представлены результаты статистического анализа динамических параметров 114 комет, подвергшихся делению ядер. Список исследуемых объектов содержит реально разделившиеся кометы, фрагменты кометных пар, исчезнувшие кометы и некоторые кометы с крупномасштабными образованиями в атмосфере. Исследованы отдельные аспекты следующей гипотезы: деление происходит в результате столкновений кометных ядер с метеороидными роями. Для проверки этой гипотезы анализируется расположение орбит разделившихся комет относительно зоны, охватывающей движение 58 метеорных потоков из каталога Кука. Найдено количество  $N$  узлов орбит разделившихся комет относительно плоскости каждого роя на расстояниях 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 и 0.1 а. е. Для определения степени избыточности  $N$  предложен специальный алгоритм вычислений, который позволяет найти математическое ожидание и дисперсию для численности таких узлов. Сравнительный анализ параметра  $N$  с математическим ожиданием с учетом дисперсии в 29 случаях позволяют сделать вывод о его избыточности. Это означает, что столкновение комет с метеороидами в роях можно рассматривать в качестве одной из возможных причин их распада. Аналогичным образом подвергнуты тестированию пояса астероидов и Койпера как зоны движения огромного количества спорадических метеороидов. Согласно результатам расчетов первый из них может рассматриваться как наиболее эффективная зона распада периодических комет.*

**ЗІТКНЕННЯ З МЕТЕОРОЇДАМИ ЯК ОДИН З МОЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ РОЗПАДУ КОМЕТНИХ ЯДЕР**, Гулієв А. С. — Подаються результати статистичного аналізу динамічних параметрів 114 комет, що зазнали поділу ядер. Список досліджуваних об'єктів містить ре-

ально розділені комети, фрагменти кометних пар, зниклі комети і деякі комети з крупномасштабними утвореннями в атмосфері. Досліджено окремі аспекти такої гіпотези: поділ відбувається в результаті зіткнень кометних ядер з метеороїдними роями. Для перевірки цієї гіпотези аналізується розташування орбіт розділених комет відносно зони, що охоплює рух 58 метеорних потоків із каталогу Кука. Знайдено кількість  $N$  вузлів орбіт розділених комет відносно площини кожного рою на відстанях 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 і 0.1 а. о. Для визначення ступеня надлишковості  $N$  запропоновано спеціальний алгоритм обчислень, який дозволяє знайти математичне сподівання і дисперсію для кількості таких вузлів. Порівняльний аналіз параметра  $N$  з математичним сподіванням з урахуванням дисперсії в 29 випадках дозволяють зробити висновок про його надлишковість. Це означає, що зіткнення комет з метеороїдами в роях можна вважати однією із можливих причин їхнього розпаду. Аналогічним чином протестовано пояси астероїдів та Койпера як зони руху величезної кількості спорадичних метеороїдів. Згідно з результатами розрахунку перший із них може вважатися найефективнішою зоною розпаду періодичних комет.

*COLLISION WITH METEOROIDS AS ONE OF POSSIBLE MECHANISMS OF COMETARY NUCLEI' SPLITTING, by Guliyev A. S. — The results of the statistical analysis of the dynamic parameters of 114 comets undergoing to nuclear splitting are presented in the article. The list of the objects contains: comets splitted in the period of observation, one fragment from each comet couples, the lost comets with designation D, comets with large-scale features. Some aspects of the following hypothesis are studied: disintegration of the comet nucleus happens as a result of their collision with meteoroid streams. For the verification of this hypothesis position of splitted comet' orbits relatively to 58 meteor streams from Cook' catalogue is analyzed. Number ( $N$ ) of orbital nodes of splitted comets within distance 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 and 0.1 a.u. from each stream is calculated. For the determination of the excess of  $N$  the special algorithm is developed. It allows to find the expected value and dispersion for these comet nodes. The comparative analysis of parameter  $N$  in 29 cases results in a redundancy of  $N$ . It means that one of possibility reasons of disintegration of comet nucleus is their collision with meteoroids in the streams. Asteroid and Kuiper belts as potential sources of vast number of sporadic meteoroids are tested similarly. According to the results of calculations the first of them may be considered as the most efficient region of the disintegration of the periodic comets.*

**Введение.** Распад кометных ядер на несколько фрагментов является весьма интересным и частым явлением. Тем не менее, единого мнения среди специалистов о причинах таких явлений нет. Не исключено, что разделение кометных ядер происходит по различным причинам. В литературных источниках обсуждаются различные механизмы, приво-

дящие к разделению кометных ядер. Среди них основными являются: приливное воздействие со стороны Солнца, гравитационное влияние планет-гигантов, неравномерная сублимация на поверхности кометного ядра, вращательная неустойчивость ядра, изменение секторной структуры магнитного поля и т. д.

Наша работа посвящается проверке одного из возможных механизмов распада кометных ядер, предложенного в работе [1]. Согласно этому механизму распад происходит вследствие прохождения кометных ядер через метеороидные рои и получения ими разрушительных ударов. Автор цитируемой работы считает, что именно таким путем образовались известные семейства короткоперигелийных комет Крейца, Мейера, Крахта, Марседена и т. д. Следует отметить, что идея столкновения кометных ядер с метеороидными телами ранее рассматривалась многими исследователями, в том числе Хьюгесом [8]. За последние годы этот вопрос явился объектом некоторых работ Неслушана и др. [10, 11].

В настоящей работе рассмотрены некоторые кинематические и статистические аспекты данной идеи для комет с перигелийным расстоянием  $q > 0.1$  а. е.

**Объекты и цель исследования.** В настоящее время в научной литературе нет общепризнанного списка распавшихся комет. Списки, предложенные в разных исследованиях, не противоречат друг другу существенно, но различаются количеством данных. В нашей работе при составлении собственного списка мы использовали следующие данные по распавшимся кометам.

1. Список, предложенный Х. И. Ибадиновым [4].
2. Данные, использованные в работе Е. Питтих [12].
3. Данные, заимствованные из работы [5]. В ней содержатся также наиболее полная информация по появлению в кометных атмосферах крупных образований. Можно полагать, что эти образования зачастую являются результатами ударов ядер метеороидами.
4. Данные по парам комет-близнецов, отличающихся моментами прохождения через перигелий в пределах всего лишь нескольких лет [2]. При этом полагается, что главной причиной формирования таких пар является распад единого ядра.
5. Данные об исчезнувших кометах, получивших обозначение D, среди которых, например, комета Бизэлы с обозначением 3D. Считается, что одной из основных причин потери таких комет является дезинтеграция их ядер.

6. Данные из каталога Марседена и Уильямса [9], а также данные, приведенные в электронных циркулярах МРЕС за 2008—2013 гг.

Список содержит следующие кометы:

C/1947 X1	C/1973 E1	C/1853 R1	C/2002 X5	C/1975 V1	C/1743 X1
C/1823 Y1	C/1996 B2	C/1901 G1	C/1980 Y1	C/1853 L1	C/1956 R1
C/1899 E1	2P/(1918)	D/1766 G1	C/1661 C1	C/2008 J4	C/1969 T1
C/1911 O1	C/1974 C1	C/1959 Y1	C/1969 Y1	C/2005 K2	5D(1868)
C/1881 N1	C/1880 Y1	D/1770 L1	C/1874 H1	C/1954 O1	C/1968 H1

C/1961 T1	C/1888 D1	C/1914 S1	C/1951C1	C/1881 K1	C/1885 R1
C/1898 U1	C/1883 D1	C/1999 S4	C/2001 A2	C/1935 A1	C/1988 A1
C/1886 J1	C/1955 O1	D/1819 W1	C/1888 P1	C/2005 A1	C/1995 O1
73P(1930)	109P(1862)	15P(1906)	C/1874 O1	C/ 1915 C1	21P(1959)
C/1889 O1	C/1853 E1	D/1978 R1	D/1894 F1	C/1988 J1	C/1860 D1
C/1986 P1	79P(1982)	C/1869 T1	C/1968 L1	7P(1819)	C/1906 B1
D/1895 Q1	C/1996 J1	D/1886 K1	C/1942 X1	19P(1932)	C/1913 R1
C/1994 G1	88P(2004)	10P(1873)	D/1783 W1	16P(1889)	205P(2008)
C/1963 F1	11D/1869 W1	C/1932M1	4P(1843)	C/1980 Y2	D/1952 B1
51P(1953)	108P(1985)	C/1969 O1	57P (1841)	C/1968 Q1	C/1888 R1
C/1870 Q1	D/1918 W1	69P(1915)	42P(1929)	C/1890 V1	17P(1892)
C/1961 R1	C/1983 O2	101P(1977)	53P(1954)	97P(1906)	C/1968 U1
D/1977 C1	128P(1987)	C/1906 E1	C/2003 S4	D/1960 S1	P/1994 P1
C/1956 F1	C/2002 A1	C/1981 G1	D/1993 F2	29P(1957)	P/2010 V1

Для нумерованных периодических комет использованы орбиты, соответствующие годам, отмеченным в скобках. Для кометных пар в списке использованы данные только по кометным ядрам с обозначением А, представляющих более крупные фрагменты ядер. Элементы орбит комет взяты из каталога Марсдена и Уилямса [9] и отдельных номеров МРЕС за период 2008—2015 гг. При этом для периодических комет использованы элементы в период первого появления.

Составленный таким образом список включает 114 комет. Из них 26 являются периодическими, 15 — исчезнувшими и 73 — почти параболическими. Анализ их орбитальных характеристик показывает следующее:

- перигелийные расстояния их орбит расположены в интервале от 0.1 до 5.72 а. е. (как мы уже отметили, короткоперигелийные кометы в этой работе не рассматриваются);

- соотношение орбит с прямым и обратным движениями равно 79:35;

- соотношение комет с перигелийными расстояниями  $q < 1$  и  $q > 1$  а. е. составляет 52:62;

- количество орбит с эксцентриситетами  $e > 1$ ,  $e = 1$  и  $e < 1$  составляет 20, 19 и 75 соответственно;

- значения эклиптических широт перигелиев В лежат в интервале от  $-78^\circ$  до  $+86^\circ$ , с небольшим преобладанием вблизи эклиптики, соотношение положительных и отрицательных значений В составляет 59:55;

- если по эклиптической долготе принять интервал равным  $45^\circ$ , то значения долгот перигелиев в диапазоне от 0 до  $360^\circ$  распределены по интервалам следующим образом: 17, 9, 21, 8, 10, 13, 23, 13 соответственно.

Анализ показывает, что значения орбитальных параметров исследуемых комет не обладают какими-то специфическими свойствами.

Целью работы является анализ распределения орбит распавшихся комет относительно плоскости орбит 58 наблюдаемых метеорных потоков, данные о которых содержатся в каталоге Кука [6]. Если окажется-

ся, что количество узлов орбит распавшихся комет в зонах движения некоторых метеороидных роев, порождающих соответствующие метеорные потоки, заметно увеличивается, то это может означать, что кометы в период прохождения через эти рои подвергаются сильным и частым столкновениям с метеороидами роев, вследствие чего возможен распад кометных ядер.

Выбор каталога метеорных потоков Кука для данного исследования объясняется тем, что собранные в нем данные основаны на результатах фотографических метеорных наблюдений, характеризующихся наилучшей точностью определения радиантов и орбит потоков. Каталог широко используется специалистами и зарекомендован как наиболее надежный источник данных по известным активным метеорным потокам.

**Методика исследования.** Методика исследования носит с одной стороны статистический характер, а с другой — содержит тестирование зон вблизи метеороидных роев на предмет избыточности там узлов орбит распавшихся комет. Конкретно решаются две задачи: определяется количество узлов кометных орбит вблизи конкретного роя, выявляется критерий избыточности этого количества относительно некоторого фона. Уровень такого фона определяется путем тестирования орбитальных параметров роя.

Применяя методику, использованную в работе [7], а также формулы сферической астрономии, на первом этапе мы вычисляем элементы орбит исследуемых комет относительно плоскости орбиты каждого метеорного потока. При этом за точку отсчета в вычислениях угловых элементов орбиты кометы принимаем значение восходящего узла орбиты выбранного потока. Затем вычисляются гелиоцентрические расстояния ближних и дальних узлов кометных орбит с помощью формулы

$$r_c = a_c(1 - e_c^2)/(1 - e_c \cos \theta_c), \quad (1)$$

где  $a_c$  и  $e_c$  — большая полуось и эксцентриситет кометной орбиты, а  $\theta_c$  — аргумент перигелия в новой системе отсчета.

При этом гелиоцентрическое расстояние до потока  $r_s$  в направлении ближнего узла кометной орбиты определяется по формуле

$$r_s = a_s(1 - e_s^2)/(1 - e_s \cos(\theta_s - \theta_c)), \quad (2)$$

а если соответствующий узел кометной орбиты является дальним, тогда используется формула

$$r_s = a_s(1 - e_s^2)/(1 - e_s \cos(\theta_s + 180 - \theta_c)). \quad (3)$$

Здесь  $a_s$ ,  $e_s$  и  $\theta_s$  — элементы орбиты потока, а  $\theta_c$  — угловое значение узла кометной орбиты в плоскости орбиты потока. Далее введем в анализ величину  $\Delta r$ , являющуюся абсолютным значением разности между  $r_c$  и  $r_s$ :

$$|\Delta r| = |r_c - r_s|.$$

Может показаться, что по совокупности значений параметра (всего  $114 \cdot 58 = 6612$ ) можно судить о возможности участия метеор-

**Таблица 1. Статистика кометных пересечений вблизи метеорных роев**

, а. е.	<0.001	<0.005	<0.01	<0.05	<0.1
$N$	7	29	40	230	426

ных роев в распаде кометных ядер. После соответствующих расчетов, придавая этому параметру дискретные значения 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 и 0.1 а. е., мы получили картину, приведенную в табл. 1.

Как видно из таблицы, рассматриваемые кометы в каждом обороте вокруг Солнца 426 раз пересекают зоны движения метеорных потоков на расстояниях до 0.1 а. е. Однако без определения значимости этого результата трудно говорить о том, что он однозначно свидетельствует о причастности метеоридных роев к распаду кометных ядер.

Эта задача решается следующим образом. Для каждого выбранного потока и рассматриваемых 114 комет определяется количество узлов  $N$ , находящихся от орбиты роя на расстоянии не больше, чем  $r$  и оценивается вероятность случайности этого количества. Решение этой проблемы аналогично решениям типичных задач «сигнал — шум», которые часто возникают в астрофизике. В данном случае  $N$  есть предполагаемый «сигнал», а уровень «шума» определяется следующим образом. Выбранный поток заменяется на множество псевдопотоков, имеющих такие же размерности орбиты, но другие ориентации в пространстве. Данный алгоритм применяется к каждому псевдопотоку, в результате образуется множество значений количества кометных узлов  $n_i$ , которые можно сравнить с величиной  $N$  с помощью методов математической статистики. Для формирования «псевдопотоков» значение  $\alpha$  варьируется от 0 до  $330^\circ$  с шагом  $30^\circ$ , а величина  $i_s$  — от 0 до  $90^\circ$  с таким шагом, чтобы полюса соответствующих плоскостей на небесной сфере были равноудалены друг от друга. Для выполнения последнего требования значение  $\sin i_s$  изменялось в диапазоне от 0 до 1 с интервалом 0.167. В результате образуются 67 «псевдопотоков» для проведения сравнительного анализа.

В конечном счете кроме  $N$  и  $n_i$  определяются следующие величины: среднее количество  $n_{cp}$  кометных узлов по рассматриваемым 67 зонам, среднее квадратичное отклонение  $\sigma$ , нормированная разность  $t = (N - n_{cp}) / \sigma$  и доверительная вероятность  $P$  превосходства  $N$  над  $n_{cp}$ . Для определения критических значений величин  $t$  и  $P$  целесообразно использовать односторонний критерий Стьюдента [3]. В этом случае, учитывая, что количество «псевдопотоков» составляет 67, и уровень значимости равен 0.05, значения величин  $t$  и  $P$  составляют 1.67 и 0.95 соответственно.

Вышеописанный алгоритм тестирования применялся к каждому потоку из каталога Кука, при этом для ближних и дальних узлов кометных орбит задача решалась отдельно. Однако при составлении соответствующих таблиц  $n_i$  ( $i_n$ ,  $n_n$ ) количество узлов, удовлетворяющих условию касательно  $r$ , суммировалось, поскольку в рамках постановки задачи нас интересует лишь суммарная картина.

**Надежность применяемого алгоритма.** Для того чтобы удостовериться в правильности данного алгоритма, предлагается использовать весьма простой пример. В расчетах орбита метеорного потока заменяется на орбиту Юпитера (2000). В этом случае значения параметра варьируются от 0.003 до 1698 а. е. Список пяти комет, у которых он не превышает 0.1 а. е., выглядит следующим образом: D/1993 F2 (0.003), 53P/1954 (0.046), C/1995 O1 (0.023), C/1986 P1 (0.087), C/1932M1 (0.098). В скобках приведены значения  $\sigma$ . Первый из этого списка объект является известная комета Шумейкера — Леви, развалившаяся в сфере действия Юпитера в 1994 г. Итоговая картина для Юпитера при варианте  $\sigma = 0.005$  а. е. выглядит следующим образом:

$$N = 1; n_{cp} = 0.22, \quad \sigma = 0.45, t = 1.71, \quad \rho > 0.95,$$

Таким образом, наличие в списке одной кометы, причиной распада которой, безусловно, является Юпитер, приводит к желаемому значению для  $\rho$  для этой планеты.

Еще одним примером возможности использования параметра  $\sigma$  в рамках поставленной задачи может стать его сравнение с MOID соответствующих тел. Например, для пары Земля — Апофис значения  $\sigma$  и MOID составляют 0.0041 и 0.0003 соответственно. Разница между ними составляет 0.0038 а. е. В качестве другого примера мы выбрали 10 астероидов, для которых значения MOID относительно Земли известны (они приводятся в отдельных номерах MPEC), и посчитали для них значения  $\sigma$ . Они представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Значения MOID и  $\sigma$  для отдельных астероидов относительно Земли**

Астероид	MOID	$\sigma$	Источник
2015KT <sub>154</sub>	0.1009	0.1009	MPEC 2015K <sub>130</sub>
2015KR <sub>154</sub>	0.1195	0.1196	MPEC 2015K <sub>127</sub>
2015KQ <sub>154</sub>	0.1564	0.1588	MPEC 2015KQ <sub>154</sub>
2014DN <sub>112</sub>	0.0035	0.0098	MPEC 2015K <sub>138</sub>
2015KW <sub>120</sub>	0.0006	0.0055	MPEC 2015K <sub>123</sub>
2015KM <sub>122</sub>	0.1055	0.1060	MPEC 2015K <sub>121</sub>
2015KO <sub>122</sub>	0.0035	0.0359	MPEC 2015K <sub>120</sub>
2015KP <sub>122</sub>	0.0392	0.0395	MPEC 2015K <sub>122</sub>
2015KG <sub>154</sub>	0.2756	0.3399	MPEC 2015KG <sub>154</sub>
2015KU <sub>154</sub>	0.0359	0.0970	MPEC 2015K <sub>129</sub>

Приведенные примеры указывают на эффективность применяемого алгоритма для дальнейших расчетов.

**Результаты расчетов по общей совокупности исследуемых комет.** Ниже приводятся результаты расчетов для всех 114 комет (без разделения их на отдельные группы) и некоторых метеорных потоков (см. табл. 3). В рамках рассматриваемой задачи наибольший интерес представляет случай, когда  $\sigma = 0.001$  а. е., и кометы дают достаточно

**Таблица 3. Статистические характеристики распавшихся комет относительно некоторых метеороидных роев**

Метеорный поток	$N$	$n_{cp}$		$t$
Вариант 0.001 а. е.				
Leonids (00222 DDL)	1	0.12	0.37	2.38
Aquarids (00031 ETA)	1	0.03	0.17	5.66
Southern Taurids (00002 STA)	1	0.06	0.24	3.94
June Bootids (00170 JBO)	1	0.07	0.32	2.92
Annual Andromedids (00018 AND)	1	0.15	0.4	2.13
Leonids (00013 LEO)	1	0.1	0.35	2.53
Вариант 0.005 а. е.				
Daytime Perseids (00172 ZPE)	2	0.3	0.49	3.45
Ophiuchids (00292 OPH)	2	0.43	0.8	1.95
Leo Minorids (00022 LM1)	2	0.28	0.57	3.00
December Phoenicids (00254 PHO)	2	0.27	0.54	3.21
Monocerotids (00377 DMO)	2	0.37	0.62	2.61
Northern Orionids (00256 ORN)	3	0.36	0.54	4.87
Southern Orionids (00257 ORS)	2	0.33	0.64	2.62
Вариант 0.01 а. е.				
Geminids (00004 GEM)	2	0.63	0.71	1.92
Вариант 0.05 а. е.				
k Cygnids (00012 KCG)	9	3.73	1.99	2.65
October Draconids (00009 DRA)	8	3.58	1.94	2.28
Ursids (00015 URS)	6	3.38	1.57	1.67
Вариант 0.1 а. е.				
Herculids (00061 TAU)	15	8.13	2.71	2.54

высокие значения параметра  $t$  относительно шести потоков (табл. 3). Величины параметра  $t$  варьируют от 2.13 до 5.66. В этих случаях можно с высокой вероятностью предположить, что шесть комет (16P/1889, C/1999 S4, C/2001 A2, D/1886 K1, 21P/1959, 109P/1862) прошли через соответствующие рои. Статистические величины для остальных вариантов также приводятся в табл. 3. Отметим, что при составлении таблицы соблюден следующий принцип: если конкретный поток показывал положительные эффекты при различных значениях  $t$ , то предпочтение отдавалось случаю с минимальным значением  $t$ , а остальные исключались.

В целом данные этой таблицы показывают, что столкновение с метеороидными роями может быть одной из возможных причин распада некоторых комет. В большей степени это касается тех шести комет, имеющих  $t$  от 0.0001 до 0.0006 а. е. относительно соответствующих потоков.

Во избежание непомерного увеличения объема статьи для остальных интервалов  $t$  мы приводим список соответствующих комет: вариант 0.005 а. е. (21P/(1959), 2P/(1918), C/1969T1, 1935 A1, D/1886 K1, 19P/(1932), C/1914 S1, D/1770 L1, C/1947 K1, C/1969 Y1, C/1880 Y1, C/1935 A1, C/1969 Y1); вариант 0.01 а. е. (C/1973 E1, C/1823 Y1); вариант 0.05 а. е. (101P/(1992), 15P/1906, 109P/1862, C/1874 O1, C/1994 G1, C/2005 K2, C/1968/L1, C/1889 O1, C/1914 S1); вариант 0.1 а. е. (D/1960



S1, 57P/ 2002, 88P/(2004), 73P/(1930), 2P/(1918), 109P/(1862), C/1889 O1, C/1994 G1, C/1898 U1, C/2001 A2, C/1881 N1, C/1886 J1, C/1870 Q1, C/2005 A1, C/1906 E1).

Напомним, что речь идет о кометах, создающих для отдельных потоков статистическую достоверность в рамках поставленной задачи. Например, были случаи, когда для кометы относительно выбранного потока мы получили значение  $\lambda$ , намного меньше, чем 0.1 а. е. Однако эта комета не вошла в список по причине недостаточности значения  $\lambda$  для рассматриваемого потока.

**Расчеты для долгопериодических комет.** На следующем этапе в рамках постановки вопроса исследованы данные только долгопериодических комет. Необходимость их отдельного рассмотрения обусловлена тем, что они имеют более «крутые» наклоны орбит. За счет этого у долгопериодических комет по сравнению с периодическими параметр  $\lambda$  имеет более определенный смысл. Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 4. Их сравнение с предыдущими результатами показывает, что для этой группы комет количество потоков, вызывающих интерес в рамках поставленной задачи несколько уменьшилось (10 против 18). Уменьшилось также суммарное количество значений статистического параметра  $N$  (23 против 60).

Приводим список комет, создающих статистически достоверную картину для долгопериодических комет: вариант 0.001 а. е. (C/1994 S4, C/2001 A2); вариант 0.005 а. е. (C/1935 A1, C/1969 T1, C/1914 S1, C/1969 Y1, C/1880 Y1, C/1935 A1, C/1964 Y1); вариант 0.01 а. е. (C/1889 O1, C/1914 S1, C/1823 Y1, C/1973 E1); вариант 0.1 а. е. (C/1955 O1, C/ 1915 C1, C/1886 J1, C/1898 U1, C/2001 A2, C/1874 O1, C/1889 O1, C/1988 A1). В рамках рассматриваемых вариантах здесь и в предыдущем случае повторяющиеся кометы исключались из списка. Для некоторых потоков в скобках приводятся обозначения, которые

**Таблица 4.** Статистические характеристики распавшихся долгопериодических комет относительно некоторых метеороидных роев

Метеороидный поток	$N$	$n_{cp}$		$t$
Вариант = 0.001 а. е.				
Southern Taurids (00002 STA)	1	0.06	0.24	3.94
June Bootids (00170 JBO)	1	0.04	0.21	4.58
Вариант = 0.005 а. е.				
Ophiuchids (00358 TOP)	2	0.33	0.64	2.62
December Phoenicids (00254 PHO)	1	0.18	0.42	1.94
Northern Orionids (00256 ORN)	2	0.28	0.52	3.32
Southern Orionids (00257 ORS)	2	0.21	0.54	3.33
Ursids (00015 URS)	1	0.18	0.42	1.94
Вариант = 0.01 а. е.				
k Cygnids (00757 CCY)	2	0.52	0.86	1.72
Geminids (00004 GEM)	2	0.52	0.66	2.24
Вариант = 0.1 а. е.				
Geminids (00009)	9	5.09	2.16	1.81

приняты соответствующей комиссией МАС [<http://www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/index.php>].

Для проверки предложенной гипотезы относительно долгопериодических комет было бы весьма важно сравнить моменты распада комет и периоды их прохождения через рои. Если распад произошел раньше времени прохождения, то это можно рассматривать как контраргумент гипотезы. Однако такая проверка требует дополнительных расчетов, что выходит за рамки нашей статьи и, возможно, является предметом будущих исследований. Кроме того, не всегда время распада или столкновения совпадает с моментом обнаружения наблюдателями факта дезинтеграции кометы. К тому же момент обнаружения факта распада не всегда совпадает с моментом самого распада кометного ядра.

**Итоги расчетов для периодических комет.** Проведенный аналогичный анализ и расчеты для распавшихся периодических комет дали следующую суммарную картину. Для 21 потока при различных значениях параметра  $t$  получены значения  $t$  выше критического 1.67. Суммарное значение  $N$  при этом составляет 21, что несколько меньше, чем у группы долгопериодических комет. Следует заметить, что при сравнении отдельных групп в рамках задачи простое суммирование  $N$  и количества потоков неприемлемо, так как каждый раз речь идет о различных совокупностях комет. В частности, нельзя ожидать, что суммарное значение  $N$  для общей совокупности рассматриваемых комет должно равняться сумме  $N$  для периодических и долгопериодических комет.

В контексте поставленной задачи особый интерес представляют утерянные периодические кометы. Распад и дезинтеграция ядра, как отмечено выше, могут быть одной из возможных причин потери таких тел. Кроме того, неоднократное импактное явление, не сопровождающееся с развалом кометных ядер, также могут способствовать заметному изменению их траекторий, после чего кометы станут утерянными для наблюдателя.

Отдельный анализ для 15 комет категории D выявил следующую статистическую картину. Количество потоков, с которыми сближаются эти кометы на расстояние до 0.1 а. е., составляет 33. Суммарное значение  $N$  (без учета параметра  $t$ ) в этом случае оказывается равным 53. Другими словами, каждая утерянная комета за один период обращения в среднем пересекает зоны движения 3-4 из 58 метеорных потоков. Утерянные кометы по девяти потокам дают результаты на уровне  $t > 0.95$  (при  $N = 17$ ). Безусловно, увеличивая  $t$ , можно было бы получить более впечатляющую статистическую картину. Однако перечисленные данные дают некоторое основание делать предположение о том, что метеоридные потоки могут быть причастны к утере периодических комет.

**О возможном влиянии спорадических метеоридов.** Следующим этапом нашего исследования является приближенный или качественный учет влияния спорадических метеоридов на распад кометных

ядер. В рамках использованной расчетной модели это весьма непростая задача. Однако если исходить из той реальной предпосылки о том, что такие метеориды в основном сконцентрированы в поясе астероидов, задача значительно упрощается. Другими словами, в расчетах пояс можно рассматривать как метеорный рой с орбитальными параметрами

$$a = 2.7 \text{ а. е.}, \quad e = 0, \quad i = 0^\circ. \quad (4)$$

Что касается его ширины, то в вычислениях в отдельности можно рассматривать значения 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 и 0.6 а. е. Результаты соответствующих приводятся в табл. 4. Полученные значения параметра  $t = 5.5 \dots 8.3$ ) практически отрицают элемент случайности и указывают на роль этого грандиозного роя в разделении ядер периодических комет. Необходимо добавить, что пять из девяти комет для случая  $a = 0.3$  а. е. являются утерянными кометами. Рассматриваемые зоны на плоскости (4) и результаты по ним представляют интереса также и в другом плане. Заменяя рассматриваемую 41 периодическую комету на такое же количество других, легко можно провести расчеты и сравнивать конечные результаты. Из каталога по признаку нумерации выберем первые 41 кометы так, чтобы в полученный список не попали распавшиеся объекты, и проведем по ним расчеты по вышеописанному алгоритму. При этом в качестве основной плоскости возьмем (4), а ширину пояса на ней опять же варьировать от 0.1 до 0.6 а. е. с шагом 0.1 а. е. В результате  $N$  окажется в пределах от 2 до 7, а  $t$  — от 0.98 до 1.72, что значительно ниже аналогичных значений для периодических комет, приведенных в табл. 5.

**Таблица 5. Результаты расчетов по периодическим и долгопериодическим кометам относительно плоскости (4)**

, а. е.	$N$	$n_{\text{ср}}$		$t$	$N$	$n_{\text{ср}}$		$t$
	Периодические кометы				Долгопериодические кометы			
0.1	4	0.30	0.67	5.5	5	1.90	1.28	2.4
0.2	7	0.60	0.99	6.5	7	3.97	1.67	1.8
0.3	9	1.81	1.02	7.1				
0.4	10	2.44	1.08	7.0				
0.5	12	3.00	1.33	6.8				
0.6	16	3.30	1.54	8.3				

Расчеты для зоны (4) по долгопериодическим кометам из вышеприведенного списка привели к более скромным результатам. Только при значениях, равных 0.1 и 0.2 а. е., мы получили заслуживающую внимание картину (табл. 5).

Было бы логично ожидать, что в случае долгопериодических комет пояс Койпера также даст положительную картину. В многочисленных вариантах тестирования была найдена только одна зона с параметрами

$$a = 40 \text{ а. е.}, e = 0, i = 0^\circ, \quad = 7.9 \text{ а. е.},$$

показывающая результаты (в расчетах параметр варьировался с шагом 0.1 а. е.)

$$N = 6: n_{\text{ср}} = 2.95, \quad = 1.83, t = 1.67, \quad = 0.95.$$

Во всех остальных случаях значения параметра оказались ниже критического значения. Возможно, здесь сказывается влияние эффекта селекции, значительно ограничивающей количество разделенных комет с большими перигелийными расстояниями. Тем не менее, эти данные дают основание полагать, что деление ядер некоторых долгопериодических комет может происходить в период, когда они пересекают пояс Койпера.

**Выводы.** Итак, наши расчеты показали, что распавшиеся кометы обладают одним свойством: частоты их пересечений через известные метеорные рои намного превосходят установленные фоны. Для определения этих фонов в статье приводится соответствующий алгоритм вычислений. Анализ их результатов позволяют сделать вывод о том, что одной из возможных причин распада кометных ядер является их прохождения через метеороидные рои. Прохождение комет через плотные слои таких роев и, как следствие, получение разрушительных ударов от метеороидов роя, может привести к тому, что кометные ядра либо сразу могут распасться на несколько частей, либо на их поверхности могут образоваться трещины, которые впоследствии приведут к делению ядер. К тому же, как показано выше, не исключено прохождение отдельных комет через несколько роев, что значительно повышает вероятность распада.

В работе [7] аналогичное исследование проводилось с целью выявления возможных причин вспышек блеска комет. Для 12 метеороидных роев показано, что вспышки блеска комет могли быть обусловлены их прохождением через соответствующие рои. В данном случае положительный эффект показывает значительно большее количество роев (до 29 из 58). Мы слегка затронули также вопрос о влиянии спорадических метеоров, считая, что они резко сконцентрированы в поясах астероидов и Койпера. Первый из них дает весьма эффективные значения  $t$  для объяснения распада периодических комет.

Для исследования сложной проблемы распада комет в этой работе использованы только динамические характеристики метеорных роев. Есть острая необходимость в использовании также и их физических параметров, таких как концентрация частиц, фактическое зенитное часовое число метеоров каждого потока и т. д. Этот вопрос может стать предметом отдельного исследования. Наш подход на рассматриваемую проблему не претендует на исключительность. Вполне возможно, что процесс распада кометных ядер обусловлен и другими факторами.

Автор благодарит Г. И. Кохирову и Ю. А. Чернетенко за обсуждение результатов работы и У. Д. Поладову за помощь в проведении вы-

числений. Выражаю благодарность также рецензентам за полезную дискуссию.

1. Гулиев А. С. Происхождение короткопериодических комет. — Баку: Elm, 2010.— 151 с.
2. Гулиев А. С., Набиев Ш. А. Кометы-близнецы // Астрон. журн. Азербайджана.— 2006.—1-2.—С. 5—9.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высш. шк., 2003.—479 с.
4. Ибадинов Х. И. Дезынтеграция кометных ядер: Дис. ... док-ра физ.-мат. наук. — М.: Ин-т космич. исслед. РАН, 1998.—296 с.
5. Boehnhardt H. Comet splitting — observations and model scenarios // Earths, Moon, Planets.—2005.—**89**.—P. 91—115.
6. Cook A. F. A working list of meteor streams // Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids / Eds C. L. Hemenway, P. M. Millman, A. F. Cook. — Washington, 1973.—NASA SP-319.—P. 183—191.
7. Guliev A. S., Kokhirova G. I., Poladova U. D. Comet outbursts and the meteor showers // Proc. of the Meteoroid 2013 conf. / Eds T. J. Jopek, et al. — A. M.: Univ. Press, 2013.—P. 263—266.
8. Hughes D. W. Meteoroids and Their Parent Bodies // Proc. Internat. Conf. — Bratislava: Astron. Inst., Slovak Acad. Sci., 1993.—P. 15—28.
9. Marsden B. G., Williams G. V. Catalogue of cometary orbits: 17-th edition. — Cambridge: SAO, 2008.—207 p.
10. Neslusan L. The meteoroid streams crossing the frequently outbursting comet 29P/Schwassmann-Wachmann // Planet. and Space Sci.—2014.—**101**.—P. 162—169.
11. Neslusan L., Ivanova O., Husarik M., et al. Dust productivity and impact collision of the asteroid (596) Scheila // Planet. and Space Sci.—2016.—**125**.—P. 37—42.
12. Pittich E. Space distribution of the splitting and outbursts of comets // Bull. Astron. Inst. Czech.—1971.—22.—P.143—153.

Статья поступила в редакцию 15.07.15