
Издаётся Евразийским астрономическим обществом
и Государственным астрономическим институтом имени П.К. Штернберга МГУ

№ 1633, 2016 октября 14

О ВЗАИМОСВЯЗИ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ И КРУПНЫХ ТРАНСНЕПТУНОВЫХ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

Р. Гулиев, А. Гулиев

*Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси
Национальной Академии Наук Азербайджана
пос. Ю. Мамедалиева, Шамаха AZ-1000, Азербайджан
rustamdb@gmail.com, quliyevaayub@gmail.com*

Поступила в редакцию 15 августа 2016 г.

Резюме. В данной работе исследуется возможная связь долгопериодических комет (ДПК) с крупными транснептуновыми телами (Седна, Эрида, 2007 OR₁₀, 2012 VP₁₁₃ и 2008 ST₂₉₁) с целью определить вероятность трансфера части этих комет во внутренние области Солнечной системы. Для выявления подобных связей в статье изучается взаимное расположение орбит комет и перечисленных ТНО. Выявлены кометы, орбиты которых близко подходят к орбитам перечисленных ТНО. Эволюция их орбит в прошлом исследована с помощью современных интеграторов. В результате найдено одно умеренное сближение кометы с ТНО. Оно относится к комете C/1861 J1, которая имела сближение с Эридой на расстоянии 0.0386 а.е. в период ~ 2400 лет до открытия кометы. Отсюда сделан вывод о том, что сближение комет и ТНО – явление весьма вероятное.

Введение

Настоящая работа является логическим развитием идеи, опубликованной в работах [1, 2]. Согласно этой идее, часть долгопериодических комет инжектируется из пояса Койпера и рассеянного диска с помощью крупных транснептуновых планетных тел (ТНП). При этом допускается, что исходя из закономерностей, присущих долгопериодическим кометам, можно даже прогнозировать существование неизвестных тел в этих двух зонах Солнечной системы.

Постановка задачи

Если комета инжектируется в сферу видимости из определённой зоны движения ТНП, то один из узлов её орбиты должен соответствовать этой зоне. Поэтому в данной работе поставлена задача исследования орбитальных параметров, в частности, узлов орбит ДПК относительно орбит наиболее крупных ТНП. В качестве базового объекта исследования выбраны наиболее удалённые тела Солнечной системы: Седна, Эрида, 2007 OR₁₀, 2012 VP₁₁₃ и 2008 ST₂₉₁. Отбор именно этих ТНП обусловлен тем, что они достаточно массивные (диаметры больше 600 км) и их гелиоцентрические расстояния охватывают достаточно большие интервалы в поясе Койпера и рассеянном диске.

При отборе комет для исследования мы руководствовались тремя основными принципами:

1. Перигелийное расстояние должно быть $q > 0.1$ а.е., поскольку в интервал $q < 0.1$ а.е. попадает много комет из групп «сангрейзеров». Происхождение этих групп является отдельной задачей, не являющейся предметом нашей работы.
2. Если комета разделена на два или более фрагментов, мы берём данные только одного из них, избавляясь тем самым от возможных кажущихся эффектов, связанных с так называемыми «кометами-близнецами».
3. Афелийные расстояния комет снизу ограничены значением 30 а.е., поскольку только такие кометы могут иметь вероятные сближения с ТНО.

На первом этапе была взята выборка орбитальных параметров 1190 ДПК, удовлетворяющих этим условиям и наблюдавшихся до начала 2016 года. Соответствующие данные взяты из каталога Марсдена [3] и отдельных номеров Циркуляра МРЕС за 2008–2015 гг. [6]. В нашей статье орбиты этих комет исследуются относительно плоскости движения каждого из перечисленных ТНП. В ходе расчётов отбираются только те ДПК, узлы орбит которых находятся в непосредственной близости к орбите ТНП в соответствующих долготах. После отбора таких комет на втором этапе работы их орбиты интегрируются по времени назад с помощью современных методов экстраполяции. Целью этих вычислений является определение вероятности сближения комет с ТНП до их открытия.

Методика проведения расчётов

На основе методики, аналогичной [8], а также с применением формулы сферической астрономии, на первом этапе вычисляются элементы орбит исследуемых комет относительно плоскости орбиты каждого ТНП. При этом за точку отсчёта в вычислениях угловых элементов орбиты кометы принимается восходящий узел орбиты выбранного планетного тела. Затем вычисляются гелиоцентрические расстояния ближних и дальних узлов кометных орбит с помощью формул:

$$r_k = a_k \frac{1 - e_k^2}{1 \pm \cos \omega} \quad (1)$$

где a_k и e_k – большая полуось и эксцентриситет кометной орбиты, а ω – аргумент перигелия в новой системе отсчёта. Обозначим гелиоцентрическое расстояние дальнего узла кометы через Λ_k .

Поскольку нас интересует только дальний узел кометной орбиты, используется следующая формула для определения гелиоцентрического расстояния планеты в соответствующей долготе:

$$r_p = a_p \frac{1 - e_p^2}{1 + e_p \cos(\omega_p + \dot{\Omega} + 180^\circ)} \quad (2)$$

В соотношениях (1) и (2) a_p , e_p и ω_p – элементы орбиты ТНО, а $\dot{\Omega}$ – угловое значение узла кометной орбиты в плоскости орбиты ТНП. Далее введём в анализ величину Δ ,

являющуюся абсолютным значением разности между Λ_k и r_p

$$\Delta = |\Lambda_k - r_p|$$

Кометы, интегрирование орбит которых осуществляется в данной работе, отбираются по признаку Δ . Заметим, что минимальное межорбитальное расстояние (MOID) комета–ТНО может быть не больше значения Δ . Спецификация параметров и т.п. демонстрируются на рис. 1.

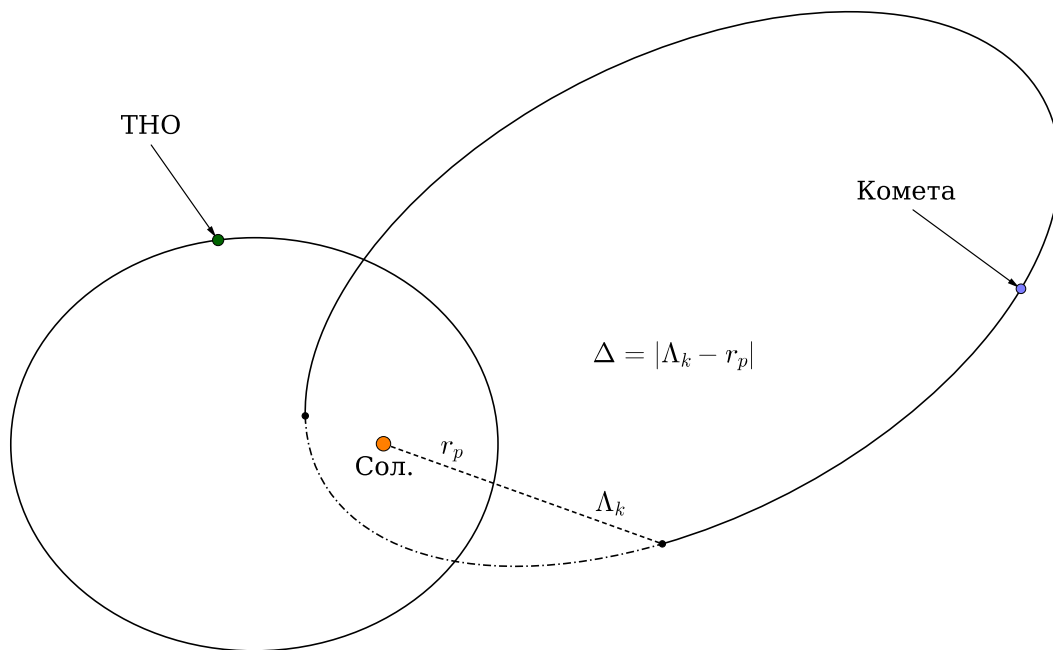


Рис. 1: Схематичное изображение орбит ТНО и кометы. Здесь также представлены значения r_p – гелиоцентрическое расстояние планетного тела в направлении дальнего узла и Λ_k – гелиоцентрическое расстояние дальнего узла, также приведено значение Δ .

Отбор соответствующих комет для исследования

На первом этапе вычислены все значения параметра Δ для 1190 комет и 5 рассматриваемых ТНП. Далее отбор комет осуществлялся по следующему принципу. Для каждой ТНП он определяется как 5 процентов среднего гелиоцентрического расстояния тела. Сразу заметим, что такой признак отбора носит сугубо условный характер и не связан с какими-либо физическими критериями. Он предназначен только для сужения количества исследуемых комет.

Таким образом, значения Δ для базовых ТНП составляют: Седна (25.3 а.е.); Эрида (3.4 а.е.); 2012 VP₁₁₃ (4.0 а.е.); 2007 OR₁₀ (3.3 а.е.) и 2008 ST₂₉₁ (3.8 а.е.). Количество комет: 43; 22; 6; 12 и 15 соответственно. В таблице 1 приводятся список этих комет и их некоторые характеристики.

Таблица 1: Список комет, относительно которых проведены расчёты

Комета	Δ	i	q	T_p	$\dot{\omega}$	$\dot{\Omega}_d$
Седна						
C/2015 LC2	0.32	91.37	5.89	-0.01	330.27	258.51
C/1991 R1	1.34	92.63	6.986	0	148.09	5.4
C/1999 S4	1.47	142.34	0.765	0.04	168.32	313
C/2014 G3	1.92	163.22	4.698	2.06	175.21	245.78
C/1998 K3	2.26	171	3.547	-0.34	25.69	321.85
C/2012 S4	2.75	115.89	4.349	-0.21	157.31	25.27
C/2005 S4	3.64	119.81	5.85	-0.18	29.97	353.14
C/1986 N1	3.64	103.17	2.642	-0.03	159.85	350.76
C/1998 W3	3.91	117.93	4.915	-0.33	11.62	162
C/1698 R1	4.68	161.83	0.729	-0.15	191.02	324.27
C/2014 S1	4.78	133.28	8.169	-0.42	330.72	34.12
C/1919 Q2	5.17	35.59	1.115	0.11	193.55	331.64
C/1896 G1	6.03	46.16	0.566	0.04	352.24	221.18
C/1887 J1	6.83	23.13	1.394	0.85	344.15	311.42
C/2012 E1	6.92	131.53	7.503	-0.28	39.07	315.81
C/2005 L3	7.04	148.47	5.593	-0.37	33.73	313.33
C/1844 Y1	7.57	34.93	0.251	0.75	185.93	329.58
C/1947 K1	7.78	110.62	1.403	-0.09	344.63	263.93
C/2001 G1	10.02	40.33	8.236	0.46	327.32	251.08
C/1978 A1	10.03	111.8	5.606	-0.28	331.45	242.18
C/1998 K1	12.08	43.62	3.417	2.26	179.22	222.9
C/1997 L1	12.46	73.11	4.899	0.2	333.87	272.4
C/2013 H1	14.21	23.26	2.647	1.32	163.41	276.05
C/1900 O1	15.17	74.42	1.015	-0.04	13.47	4.48
C/2007 K1	15.97	118.65	9.239	0.3	45.23	327.41
C/1781 M1	16.42	75.66	0.776	0.04	166.69	299.45
C/1864 N1	18.33	166.72	0.909	0.75	192.63	354.04
C/2007 D1	18.71	31.16	8.794	0.65	329.87	214.89
C/2003 T4	19.03	79.27	0.85	0.02	191.01	308.22
C/2013 O3	19.09	110.27	3.149	-0.11	332.15	309.91
C/1998 M2	19.35	65.99	2.725	0.31	25.54	301.65
C/2009 K2	19.56	55.75	3.246	0.37	152.77	336.81
C/2011 A3	19.88	15.34	2.345	0.5	156.4	326.02
C/1500 H1	20.22	110.21	1.11	-0.07	347.77	339.38
C/2010 D4	21.12	111.73	7.147	3.04	33.54	298.74
C/2001 K5	21.63	73.58	5.184	0.15	34.63	276.55
C/1796 F1	22.33	121.5	1.58	-0.16	195.8	240.84
C/1964 P1	23.19	76.74	1.259	0.71	12.19	318.49
C/2004 R2	23.71	54.05	0.113	0.05	356.33	222.64
C/1822 N1	23.82	119.1	1.145	0.67	191.44	316.38
C/2013 G5	24.21	28.63	0.928	0.04	165.89	359.49

Комета	Δ	i	q	T_p	$\dot{\omega}$	$\dot{\Omega}_d$
Эрида						
C/2015 Y1	0.01	83.05	2.514	0.34	341.21	289.95
C/2014 G3	0.24	114.55	4.698	1.45	171.26	346.4
C/1888 P1	0.31	62.83	0.902	0.16	13.38	264.72
C/2014 C3	0.4	162.97	1.862	0.29	194.27	18.88
C/2014 G3	0.5	114.54	4.698	1.46	171.26	346.4
C/1861 J1	1.15	103.66	0.822	0.86	10.32	68.25
C/2001 A2-A	1.68	59.9	0.779	0.19	347.21	42.45
C/2013 G7	1.91	62.32	4.694	0.32	208.19	13.5
C/1999 T3	1.95	148.02	5.366	-0.84	221.13	193.75
C/2014 L5	2.05	78.92	6.204	0.2	45.81	179.7
C/2004 X2	2.12	76.32	3.792	0.22	207.67	258.28
C/2004 U1	2.15	110.28	2.659	-0.21	334.18	231.89
C/1981 H1	2.35	117.09	2.458	-0.18	198.98	355.65
C/1790 A1	2.65	154.8	0.758	-0.32	13.85	228.25
C/2012 Y3	2.91	75.74	1.764	1.6	190.1	99.51
C/2005 L2	3.23	143	3.194	-0.5	206.44	41.27
C/1992 U1	3.3	26.99	2.314	0.57	24.6	221.61
C/1585 T1	3.41	37.8	1.095	0.37	159.83	178.76
2012 VP ₁₁₃						
C/2004 K1	0.43	75.27	3.399	0.18	157.98	337.42
C/1948 E1	0.67	136.21	2.107	-0.36	161.24	275.16
C/1896 C1	0.86	113.22	0.587	-0.08	171.5	357.2
C/1913 R1	1.49	114	1.356	0.11	348.87	207.71
C/1984 V1	2.06	57.04	0.918	0.23	190.97	239.98
C/1764 A1	2.26	96.92	0.555	-0.03	8.46	232.45
C/2007 K1	2.31	89.1	9.239	0.2	142.61	288.42
C/1796 F1	2.33	24.6	1.58	0.32	194.23	351.02
C/2014 L5	2.68	33.75	6.204	0.43	24.22	197.82
C/1743 X1	2.87	49.3	0.222	0.09	5.77	335.61
C/2012 B3	3.26	128.55	3.537	-0.4	156.01	292.64
C/2012 E1	3.35	96.01	7.503	-0.07	143.83	302.85
C/1858 L1	3.93	135.03	0.578	0.51	6.86	228.93
2007 OR ₁₀						
C/1900 O1	0.27	32.01	1.015	0.39	19.6	167.55
C/2008 A1	0.42	68.02	1.073	0.14	16.84	113.67
C/1532 R1	0.54	53.35	0.519	0.15	349.71	323.25
C/2014 N3	0.73	42.45	3.888	0.73	321.91	243.02
C/1980 R1	0.89	129.32	2.112	-0.39	337.34	101.88
C/2009 E1	1.45	141.19	0.6	0.83	9.45	280.78
C/2012 K6	2.04	147.27	3.353	-0.53	25.66	87.59
C/2006 P1	2.26	69.05	0.171	0.06	187	281.53
C/2011 Q1	2.64	124.64	6.78	-0.68	126.84	162.26
C/2002 K1	3.03	73.16	3.23	0.22	30.99	119.67
C/1964 N1	3.14	145.16	0.822	0.31	346.63	166.92

Комета	Δ	i	q	T_p	ω	Ω_d
C/2007 M1	3.21	109.1	7.473	-0.42	58.11	173.18
2008 ST ₂₉₁						
C/1854 Y1	0.09	25.18	1.359	0.76	343.72	35.06
C/2009 F1	0.29	151.22	1.831	-0.04	200.14	8.07
C/2016 A6	0.63	102.73	2.418	-0.15	152.24	333.16
C/2008 Q3	0.72	143.67	1.798	-0.28	14.81	95.71
C/1385 U1	0.84	87.33	0.79	0.02	195.82	319.11
C/1896 G1	2.1	74.27	0.566	0.04	11.9	24.17
C/1944 H1	2.2	18.46	2.411	0.74	166.88	127.32
C/1983 H1	2.42	70.1	0.991	1.03	171.15	84.85
C/1855 G1	2.57	142.55	2.194	0.68	345.45	56.77
C/2007 M2	2.79	62.47	3.541	0.35	210.5	29.37
C/2015 V1	3.01	150.35	4.266	-0.66	210.84	251.81
C/1947 O1	3.09	77.68	2.828	0.03	16.3	160.33
C/2010 G2	3.09	100.85	1.981	0.38	158.54	280.17
C/1793 A1	3.18	115.06	0.966	-0.18	163.28	323.91
C/2008 X1	3.77	41.39	1.618	0.41	23.5	335.51

В таблице 1 приводятся следующие данные: Δ , q (перигелийное расстояние), i (наклон кометной орбиты относительно плоскости движения базового ТНО), T_p (константа Тиссерана), ω (аргумент перигелия) и Ω_d (долгота дальнего узла кометы в новой системе отсчёта). Значения 2 и 4 столбцов даны в астрономических единицах, 3, 6 и 7 – в градусах.

Выводы из таблицы

Предварительный анализ данных таблицы 1 позволяет сделать ряд заключений.

По среднему значению параметра q первые 4 группы заметно превосходят другие кометы из общей совокупности. Седна (3.449; среднеквадратическое отклонение 2.683); Эрида (2.809, 1.735); 2012 VP₁₁₃ (2.906, 2.958); 2007 OR₁₀ (2.586, 2.455). Для сравнения в ОС (2.053, 1.863). Пятая группа (1.970, 1.0278) в этом отношении ничем не отличается. «Группа» Седны отличается еще и тем, что большинство удалённых узлов (31 из 42) соответствует направлению перигелий +90°. В других случаях эта особенность либо отсутствует, либо выражена очень слабо. Видимо, данных для статистики здесь мало. Только 9 комет из «группы» Седны открыты до 1900 г. Можно полагать, что орбиты большинство комет имеют достаточно высокую точность. Для «группы» Эриды наблюдается примерно такая же картина.

Интегрирование кометных орбит с учётом соответствующих ТНО

Для нахождения динамической связи у рассматриваемых ТНО с вышеперечисленными кометами (помимо кинематической, описанной выше) нами было проведено несколько тестовых симуляций данных объектов на предмет исследования орбитальной эволюции комет в прошлом. В качестве основного инструмента для орбитального ин-

тегрирования был выбран пакет Mercury и симплектический метод Hybrid, описанный Чемберсом [4] и позволяющий вычислять тесные сближения между телами.

В ходе данной работы мы столкнулись с некоторыми трудностями, связанными с массами тестируемых нами ТНО. Масса Эриды известна лишь приблизительно [7], массы же остальных объектов пока содержат большие неточности. Поэтому, исходя из их размеров и выбирая некое значение средней плотности этих тел ($2 < \rho < 3$), мы смогли добавить их в список гравитирующих объектов. Таким образом, наше исследование эволюции орбит приобретает некий условный характер.

В результате интегрирования кометных орбит на временной промежуток ≈ 10000 лет назад было обнаружено одно единственное сближение кометы C/1861J1 с Эридой на расстоянии 0.0386 а.е. Это расстояние сопоставимо с размером радиуса сферы влияния данного ТНО, варьирующейся от 0.088 а.е. в перигелии до 0.198 а.е. в афелии, согласно [5].

Сближений перечисленных комет с другими тестируемыми ТНО найти пока не удалось, одна из возможных причин этому – не совсем точные значения орбитальных элементов исследуемых нами комет, а также и тестируемых планетных тел.

Дискуссия

Результаты проведенных вычислений дают основания полагать, что некоторая часть долгопериодических комет до их открытия могла иметь сближения с ТНО. На это указывает прежде всего анализ значений параметра Δ . Это предположение подкрепляется найденным нами реальным сближением кометы C/1861J1 с Эридой. Насколько нам известно, такого рода сближение обнаружено впервые. Если по 99 отобраным кометам мы нашли одно реальное сближение с ТНО, это означает, что по крайней мере около двух процентов наблюдаемых долгопериодических комет динамически могли быть связаны с койперовыми телами. Не исключено, что при повышении точности исходных данных рассматриваемых тел и применяемого интегратора эти проценты могут увеличиваться в разы. Следовательно, идея о возможности трансфера комет из пояса Койпера и рассеянного диска в зону видимости с помощью ТНО является весьма перспективной научной задачей.

Список литературы

- [1] Гулиев А.С., Гулиев Р.А., АЖ. Азерб., **6**, №4, 5 (2011).
- [2] Гулиев А.С., Набиев Ш.А., Гулиев Р.А. и др., АЖ. Азерб., **7** №1, 5 (2012).
- [3] Marsden B.G., Williams G.V., Catalogue of Cometary Orbits **17**-th edition (2008).
- [4] Chambers J.E., MNRAS, **304**, 793 (1999)
- [5] Кислик М.Д., Косм. иссл., **2**, № 6, 853 (1964).
- [6] <http://www.minorplanetcenter.net/mpec/RecentMPECs.html>
- [7] Brown M., Schaller E., Science, **316**(5831), 1585 (2007).
- [8] Гулиев А.С., КФНТ, **32**, в печати (2016).

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN LONG-PERIOD COMETS AND LARGE TRANS-NEPTUNIAN PLANETARY BODIES

R. Guliyev and A. Guliyev

*Shamakhy Astrophysical Observatory,
Azerbaijan National Academy of Sciences,
Y. Mammadaliyev, Shamakhy AZ-1000, Azerbaijan
rustamdb@gmail.com, quliyevayyub@gmail.com*

Received August 15, 2016

Abstract. In the present work we investigate the possible relationship of long-period comets with five large and distant trans-Neptunian bodies (Sedna, Eris, 2007 OR₁₀, 2012 VP₁₁₃ and 2008 ST₂₉₁) in order to determine the probability of the transfer of a part of this kind of comets to the interior of the Solar System. To identify such relationships, we studied the relative positions of the comet orbits and listed TNOs. Using numerical integration methods, we have examined dynamical evolution of the comets and have found one encounter of comet C/1861J1 and Eris. The encounter was found at a distance of 0.0386 AU in the period of 2400 years before the comet discovery. Results are discussed.