
Издаётся Международной общественной организацией “Астрономическое общество”
и Государственным астрономическим институтом имени П.К. Штернберга МГУ

№ 1637, 2017 июля 10

**О возможной роли избранных транснептуновых планетных тел
в динамической эволюции долгопериодических комет**

Р. Гулиев и А. Гулиев

Шамахинская астрофизическая обсерватория имени Н. Туси

Национальной Академии наук Азербайджана

пос. Ю. Мамедалиева, Шамаха AZ-1000, Азербайджан

rustamdb@gmail.com, quliyevayyub@gmail.com

Поступила в редакцию 6 мая 2017 г.

Резюме. Исследована эволюция орбит 235 долгопериодических и среднепериодических комет до их открытия. Расчёты охватывают $\sim 100\,000$ лет. Учтено гравитационное влияние 8 планет и 5 наиболее массивных транснептуновых планетных тел (Плутона, Седны, Хаумеа, Эриды, и 2012 VP₁₁₃). Ставилась цель найти тесные и умеренные сближения комет с перечисленными койперовыми телами. В результате расчётов удалось найти 36 сближений такого характера. Сделано предположение о том, что в гравитационной эволюции долгопериодических комет койперовы тела играют весьма заметную роль.

Введение

Известно, что пояс Койпера в настоящее время рассматривается как потенциальный источник пополнения наблюдаемых комет. Попадание комет в зону наблюдения из указанной зоны может быть очень длительным процессом, продолжающимся миллионы лет [1, 2]. Кроме того, в работе [3] качественно анализировался вопрос о возможности гравитационного влияния транснептуновых планетных тел (ТНП) на изменение кометных орбит. Также в работе [4] найден целый ряд закономерностей кинематического характера, присущих кометной системе и свидетельствующих в пользу правильности постановки самого вопроса о причастности ТНП к эволюции кометных орбит. В частности, распределение значений постоянной Тиссерана, минимальных межорбитальных расстояний комета — ТНП, расстояний дальних узлов кометных орбит относительно различных плоскостей представляют значительный интерес для решения вопроса.

Этот вопрос интересен ещё и тем, что со временем наряду с ДПК увеличивается и число крупных ТНП. По данным источника [5] к началу 2017 года известны данные о 159 ТНП, имеющих абсолютный блеск до 5.5^m . Их диаметры расположены в пределах от 300 до 2400 км. Ясно, что они вполне в состоянии оказать влияние на близко проходящие кометы. Кроме того, можно предполагать, что их взаимные столкновения также могут породить кометы той или иной характеристики.

Постановка вопроса

В настоящей работе мы поставили перед собой задачу исследования орбит выбранных долгопериодических комет до их открытия с учётом гравитационного влияния 5 наиболее массивных ТНП (Плутона, Седны, Хаумеа, Эриды, и 2012 VP₁₁₃). Временной промежуток для интегрируемой модели выбран 100 000 лет в прошлое. За это время изучаемые кометы как минимум один раз должны были пересечь зону обитания перечисленных планетных тел. Целью проведенного исследования является поиск возможности тесного или умеренного сближения каждой из выбранной комет с перечисленными ТНП.

Способ отбора изучаемых комет

Поскольку поставленная задача требует значительных вычислительных ресурсов, нужно найти объективный способ ограничения количества соответствующих комет. Ясно, что есть кометы, которые исходя из орбитальных особенностей априори не могут представлять интереса для поставленной задачи. Для подбора подходящих комет мы исходили из трёх реальных предпосылок:

1. Следует обратить особенное внимание на те кометы, которые имеют значения постоянной Тиссерана (T) от 2 до 3 относительно системы координат, связанной с выбранной планетой.
2. Приоритет нужно отдать кометам, орбиты которых по признаку MOID или по гелиоцентрическим расстояниям далёких узлов могут показать согласие с поставленной задачей. В настоящей работе мы исходили из второго критерия, где признак близости орбит ДПК и ТНП может определиться по параметру

$$\Delta = |r_c - r_p|,$$

где r_c — гелиоцентрическое расстояние дальнего узла кометной орбиты в плоскости движения ТНП, а r_p — его гелиоцентрическое расстояние в направлении соответственного узла орбиты кометы. Способ определения этих двух параметров для случая комет-метеороидный поток описан в работе Гулиева [6].

3. Если есть кометы, наклоны орбит которых (i') относительно плоскости движения выбранного ТНП близки к 0° , то в процессе расчётов им также нужно уделить особое внимание. Значение i' можно получить из формул сферической астрономии:

$$i' = \arccos(\cos i \cos i_p + \sin i \sin i_p \cos(\Omega - \Omega_p)),$$

где i_p и Ω_p — элементы орбиты ТНП, i и Ω — элементы кометной орбиты, соответственно.

Исходя из перечисленных критериев, мы выбрали 83, 29, 36, 85 и 19 ДПК, орбитальные характеристики которых представляют интерес для поиска их тесных или умеренных сближений с Седной, Хаумеа, Еридой, 2012 VP₁₁₃ и Плутоном. В случае этих ТНП верхние границы для возможных сближений ограничивались до 2, 1, 2, 1 и 0.5 а.е., соответственно.

Методы и основные трудности при проведении расчётов

Для изучения данного вопроса уравнения движений комет были численно проинтегрированы назад во времени. В качестве метода экстраполяции был выбран алгоритм Булирша–Штёра для максимально точной оценки сближений комет с ТНП. Формальная точность интегрирования 10^{-12} , шаг интегрирования – переменный. Для определения эфемерид небесных тел использовалась численная теория DE406. Данные взяты из каталога JPL Horizons [7].

Трудности в расчётах в основном связаны с ошибками в определении орбит. В отличие от периодических комет, ДПК наблюдаются за короткий срок – во время всего лишь одного прохождения через перигелий. Еще одна трудность связана с неточностью орбит ТНП, большинство которых наблюдались в течение нескольких лет. Безусловно, в этом отношении Плутон составляет исключение, хотя и он не наблюдался в течение одного полного оборота вокруг Солнца.

Исходя из всего этого, трудно ожидать достоверных находений тесных сближений между ДПК и ТНП, даже если они в реальности имели место достаточно часто.

При подборе комет-кандидатов для расчётов мы исходили из интервалов Δ с границами $0 - 5$ а.е., $0 - 2$ а.е., $0 - 5$ а.е., $0 - 10$ а.е. и $0 - 10$ а.е., для Седны, Хаумеа, Ериды, 2012 VP₁₁₃ и Плутона, соответственно. При учёте третьего фактора интервалы для наклонов (i') выбирались как $0^\circ - 5^\circ$ и $175^\circ - 180^\circ$.

Однако следует отметить, что перечисленные границы динамических параметров весьма условные, они носят предварительный характер. Количество выбранных таким образом комет составило 232; 96, 51 и 85 из них отобраны по признакам T , Δ и i' , соответственно.

Результаты расчётов

Таблица 1: Данные по сближениям долгопериодических комет с транснептуновыми планетными телами.

Плутон			Хаумеа		
Комета	D_{\min}	Эпоха	Комета	D_{\min}	Эпоха
C/1998Y1	0.29	-3183.08	C/2013E2	0.35	-3517.13
P/2004H2	0.10	-20009.19	C/1998Y1	0.98	-10663.76
C/1999L3	0.22	-34324.89	C/1873Q1	0.32	-13522.94
P/2006R2	0.48	-72897.16	C/1998K1	0.85	-21063.28
Эрида			P/2005Y2	0.87	-22771.90
Комета	D_{\min}	Эпоха	C/2014G3	0.96	-49854.91
C/2003K1	1.10	-2588.46	C/1844Y1	0.90	-88201.33
C/2005O2	0.73	-7028.57	Седна		
C/2005O2	0.68	-38300.43	Комета	D_{\min}	Эпоха
C/2005O2	1.29	-43883.64	C/1844Y1	1.54	-34071.44
C/2005O2	1.12	-45557.78	2012 VP ₁₁₃		
C/2005O2	1.70	-50027.33	Комета	D_{\min}	Эпоха
C/1963A1	1.78	-93001.56	C/1863V1	0.59	-311.60
P/2003WC	1.09	-100456.1			

В таблице 1 приведены результаты наших предварительных расчётов. Здесь D_{\min} – найденное расстояние сближения кометы и ТНП, а также эпоха в годах на момент сближения (отсчёт ведётся от времени начала интегрирования JD2456594.5).

Дискуссия

С самого начала следует отметить: с учётом вышеприведенных трудностей наше исследование носит предварительный характер. После уточнения масс ТНП такие работы будут иметь более реальный и субстантивный смысл. Итак, в ходе расчётов найдено, что 21 раз имели место случаи, когда параметр D_{\min} оказывается в вышеуказанных пределах. В некоторых случаях одна и та же комета имеет сближения с ТНП неоднократно. Кроме того, нередки случаи, когда выбранная комета сближается не с тем ТНП, который предусматривает наш алгоритм, а с другими. Это означает, что истинная картина таких сближений имеет более масштабный характер.

В целом, результаты расчётов дают основание полагать, что в гравитационной эволюции комет ТНП играют весьма заметную роль. Возможно, это один из источников пополнения наблюдаемых комет в Солнечной системе. В дальнейшем проделанную работу следует провести относительно других крупных ТНП с привлечением в процесс новейших ДПК. Такая работа авторами планируется на будущее.

Список литературы

- [1] Levison H.F., Dones L.H., *Encycl. of the Sol. Sys.*, **2nd ed.**, 575 (2007).
- [2] Morbidelli A., arXiv:astro-ph/0512256 (2005).
- [3] Гулиев Р.А., Гулиев А.С., АЦ **1635** (2015).
- [4] Гулиев А.С., Гулиев Р.А., КФНТ **33**, в печати (2017).
- [5] [MPC] <http://www.minorplanetcenter.net/mpec/RecentMPECs.html>
- [6] Guliyev A.S., PSS **143**, 40, doi:10.1016/j.pss.2016.11.009 (2017).
- [7] [JPL Horizons] <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

On the Potential Role of Selected Trans-Neptunian Planetary Bodies in the Dynamical Evolution of Long-Period Comets

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 May 6, 2017

Abstract. We investigate the orbital evolution of 235 long-period and medium-period comets prior to their discovery. The calculations cover $\sim 100,000$ years. Gravitational influence of 8 major planets and 5 most massive trans-Neptunian planetary bodies (Pluto, Sedna, Haumea, Eris, and 2012 VP₁₁₃) are taken into account. In general, the objective is to find close and moderate encounters of comets with the listed Kuiper bodies. The calculations done, it was possible to identify 36 encounters of this nature. It is assumed that Kuiper bodies play a very prominent role in the gravitational evolution of long-period comets.