

УДК 521.1

## О диффузии комет по постоянной Тиссерана

Ю. Г. Бабенко

Основываясь на эволюции орбит как реальных, так и гипотетических комет, показано, что существует диффузия комет по постоянной Тиссерана. Отмечено, что она играет существенную роль для комет с постоянными Тиссерана, большими 0.450, и может не учитываться в остальных случаях.

*ON DIFFUSION OF COMETS BY THE TISSERAND CONSTANT, by Babenko Yu. G.—* The existence of diffusion of comets by Tisserand constant is shown from the study of orbit evolution of both real and hypohetic comets. It is noted that the diffusion is significant only for comets with Tisserand constants exceeding 0.450 but is negligible in other cases.

Как известно, при рассмотрении движения комет в рамках круговой ограниченной задачи трех тел, с каждой кометой может быть связана постоянная величина (постоянная Якоби), которая сохраняется в процессе эволюции орбиты кометы. В соответствии с [19] эта константа может быть записана следующим образом:

$$G = a^{-1} + 2\sqrt{p/a_n^3} \cos i + \delta, \quad (1)$$

где  $G$  — постоянная, эквивалентная постоянной Якоби,  $a$  — большая полуось орбиты кометы,  $p$  — параметр орбиты кометы,  $i$  — наклон орбиты кометы по отношению к плоскости орбиты планеты,  $a_n$  — большая полуось орбиты планеты.

Величина  $\delta$  в свою очередь определяется следующим выражением:

$$\delta = \frac{m_n^2}{(1 + m_n) a_n} + \frac{2m_n}{\rho} + \frac{2m_n}{a_n^2} (\xi \cos n_n t + \eta \sin n_n t) + 2\sqrt{m_n p / a_n^3} \cos i, \quad (2)$$

где  $m_n$  — масса планеты,  $\rho$  — расстояние между кометой и планетой,  $n_n$  — среднее движение планеты,  $\xi$  и  $\eta$  — координаты проекции радиус-вектора кометы на плоскость орбиты планеты,  $t$  — время, причем начало отсчета времени — момент, когда планета находилась на оси  $O\xi$ . Обычно при рассмотрении эволюции орбит комет величиной  $\delta$  пренебрегают [20] и рассматривают в качестве величины, характеризующей орбиту кометы, постоянную Тиссерана  $C$ , которая определяется, исходя из выражения (1), следующим образом:

$$C = a^{-1} + 2\sqrt{p/a_n^3} \cos i. \quad (3)$$

Из изложенного ясно, что даже в случае круговой ограниченной задачи трех тел величина  $C$  не сохраняется, что отмечено также в [18]. Определим возможные пределы изменения постоянной Тиссерана, исходя из выражения (2), для Юпитера.

Выберем в качестве единицы длины астрономическую единицу, в качестве единицы массы — массу Солнца. Если не учитывать 1-й член в (2) из-за его незначительности, то 2-й в (2) не превысит  $1.5 \cdot 10^{-3}$ , когда расстояние между кометой и планетой будет больше 1.4 а. е.; 3-й также будет по абсолютной величине меньше  $1.5 \cdot 10^{-3}$ , если ограничиться случаями, когда комета находится от Солнца на расстоянии, не превышающем  $2a_n$ . Что касается 4-го члена, то его желательно учесть, так как его изменения могут превышать  $2 \cdot 10^{-2}$ . Отметим также, что из-за пре-

небрежения наклоном орбиты Юпитера возможные изменения постоянной Тиссерана не превысят  $2 \cdot 10^{-3}$ .

Таким образом, при условии учета 4-го члена, т. е. при вычислении постоянной Тиссерана по формуле

$$C = a^{-1} + 2 \sqrt{(1 + m_n) p / a_n^3} \cos i, \quad (4)$$

ее изменение в рамках круговой ограниченной задачи трех тел не превысит  $1 \cdot 10^{-2}$ , если ограничиться случаями, когда комета находится от Солнца на расстоянии, не превышающем  $2a_n$ , а от планеты — на расстоянии, большем 1.4 а. е.

Довольно часто при рассмотрении эволюции орбит реальных короткопериодических комет принимается, что их постоянная Тиссерана сохраняется. Такое предположение существенно упрощает рассмотрение эволюции орбит комет. Однако некоторые заключения, вытекающие из такого предположения, не согласуются с постоянными Тиссерана реальных короткопериодических комет, особенно короткопериодических комет семейства Юпитера. В частности, при сохранении постоянных Тиссерана не может быть короткопериодических комет с  $C < 0.544$  в том случае, если происхождение короткопериодических комет связано с преобразованием орбит параболических комет при их тесном сближении с Юпитером.

Следовательно, представляет большой интерес вопрос об изменении постоянной Тиссерана (по сравнению с ее изменением в рамках круговой ограниченной задачи трех тел) в процессе эволюции орбит как реальных так и гипотетических комет, характере таких изменений и важности этих изменений.

Можно сразу сказать, что так как в реальных условиях предположение о круговой ограниченной задаче трех тел не выполняется, то постоянная Тиссерана реальных комет должна изменяться на величину, превышающую ее изменение в рамках круговой ограниченной задачи трех тел. Есть по меньшей мере три причины [16], из-за которых должно происходить такое изменение. Первая — орбиты больших планет, в том числе Юпитера и Сатурна, отличны от круговых. Вторая причина — на комету в процессе ее эволюции оказывает влияние более чем одна планета; третья — это влияние негравитационных сил.

Исходя из вышеизложенного, можно ожидать, что в процессе эволюции орбит реальных комет будет происходить непрерывное изменение их постоянных Тиссерана, причем из-за того, что изменение будет происходить по крайней мере по трем причинам, оно должно носить характер диффузии, т. е. это изменение можно рассматривать как диффузию комет по постоянной Тиссерана.

Для проверки этого предположения воспользуемся результатами расчетов эволюций как реальных, так и гипотетических комет. Так как это в основном короткопериодические кометы семейства Юпитера, то рассмотрим диффузию постоянной Тиссерана для случая Юпитера.

Результаты такого рассмотрения сведены в таблицу.

Для массы Юпитера принято значение, равное 0.0009548, а для большой полуоси его орбиты — 5.203 а. е., так что расчет велся по следующей формуле:

$$C = 0.192 + 0.1686 \sqrt{p} \cos i. \quad (5)$$

Изучение изменения постоянной Тиссерана как реальных так и гипотетических комет (таблица) показывает, что, во-первых, это изменение превышает для ряда комет величину изменения постоянной Тиссерана в случае круговой ограниченной задачи трех тел, т. е. изменение постоянной Тиссерана реально, а во-вторых, оно действительно носит характер диффузии. Особенно отчетливо это видно из рис. 1 работы

[22], где приведено изменение постоянной Тиссерана гипотетической кометы на протяжении 89600 лет.

Из таблицы также следует, что диапазон изменения постоянной Тиссерана растет при ее увеличении, а также с увеличением временного интервала, в течение которого эти изменения происходят. Вместе с тем диапазон этих изменений не очень значителен — он не превышает 0.143. Исходя из этого, можно сделать вывод, что изменение постоянной Тиссерана играет важную роль и должно учитываться для случая больших значений постоянных Тиссерана, что отмечено также в [23]. В частности, вследствие диффузии по постоянной Тиссерана, короткопериодические кометы, имеющие в начале своей эволюции постоянные Тиссерана, меньшие 0.544, могут со временем преодолеть этот барьер.

Вместе с тем для случая малых значений постоянных Тиссерана, а тем более для отрицательных значений, диффузия по постоянной Тиссерана не играет существенной роли.

Таким образом, проведенное рассмотрение показало, что существует диффузия комет по постоянной Тиссерана, которая играет важную роль и должна учитываться для случая постоянной Тиссерана, большей 0.450. Для постоянных Тиссерана, меньших 0.450, этот процесс не играет существенной роли, так что все выводы, сделанные в этом случае, исходя из предположения о том, что постоянная Тиссерана практически сохраняется, можно считать справедливыми и в общем случае.

Отметим также, что из выражений (1) и (2) следует, что при приближении кометы к планете ее постоянная Тиссерана уменьшается, что

#### Изменение постоянных Тиссерана для ряда периодических комет

Обозначение	Название	$\bar{C}$	$\Delta C$	$\Delta T$ , лет	Источник
«Гипотетическая»	№ 65	0.620	0.143	89600	[22]
1977 VII	Герельса 3	0.582	0.007	400	[12]
1942 VII	Отермы 3	0.580	0.007	400	[11]
1929 I	Швасмана-Вахмана 2	0.576	0.004	400	[2]
1963 II	Гунна	0.575	0.005	200	[6]
1925 II	Швасмана-Вахмана 1	0.574	0.003	400	[10]
1933 V	Уиппла	0.570	0.021	400	[10]
1949 VI	Шайн-Шальдаха	0.570	0.017	400	[10]
1916 II	Неуймина 2	0.562	0.005	400	[4]
1948 IX	Ашбрука-Джексона	0.561	0.008	400	[5]
1930 VI	Швасмана-Вахмана 3	0.534	0.003	200	[8]
1963 VIII	Кирнса-Кви	0.532	0.013	400	[13]
1969 IV	Чурюмова-Герасименко	0.530	0.005	400	[3]
1851 II	Д'Арре	0.530	0.021	400	[10]
1909 IV	Даниэля	0.525	0.003	400	[1]
1975 IV	Веста-Когоутека-Икемуры	0.520	0.011	400	[12]
1900 III	Джакобини-Циннера	0.519	0.034	400	[9]
1770 I	Лекселя	0.516	0.029	400	[13]
1895 II	Свифта 2	0.514	0.004	200	[7]
1929 III	Неуймина 3	0.505	0.008	400	[10]
1905 II	Борелли 1	0.495	0.005	400	[10]
1939 IV	Вейсалы 1	0.486	0.001	400	[10]
1911 VII	Шомасса	0.481	0.002	400	[17]
1927 VI	Гэйла	0.444	0.006	400	[10]
1913 III	Неуймина 1	0.416	0.003	400	[10]
1867 I	Стефана-Отермы	0.363	0.001	400	[10]
1457 I	Кроммелина	0.285	0.000	400	[15]
1815	Ольберса	0.239	0.001	400	[10]
—455	Галлея	—0.116	0.004	3024	[21]
1366	Темпеля-Тутля	—0.123	0.003	400	[14]

Примечание:  $\bar{C}$ —среднее значение постоянной Тиссерана,  $\Delta C$ —диапазон изменения постоянной Тиссерана,  $\Delta T$ —промежуток времени, в течение которого происходили эти изменения.

должно приводить к увеличению как большой полуоси, так и наклона ее орбиты. Таким образом, вблизи планет орбита кометы должна быть более вытянута и иметь больший наклон. В качестве примера таких изменений можно привести работу [12].

1. *Беляев Н. А.* Эволюция орбиты кометы Даниэля 1909 IV за 400 лет (1660—2060). Предварительное исследование.— Бюл. ин-та теор. астрон. АН СССР, 1966, 10, с. 696—710.
2. *Беляев Н. А.* Эволюция орбит комет Неуймина 2 (1916 II), Комас Сола (1927 III) и Швассмана-Вахмана 2 (1929 I) за 400 лет (1660—2060).— Астрон. журн., 1967, 44, с. 461—470.
3. *Беляев Н. А.* Изучение движения кометы Чурюмов-Герасименко (1969 IV).— Пробл. космич. физики, 1973, вып. 8, с. 112—116.
4. *Беляев Н. А.* Объединение появлений и эволюция орбиты кометы Неуймина 2 (1916 II) за 400 лет (1660—2060).— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1973, вып. 39, с. 102—109.
5. *Беляев Н. А., Мерзлякова М. А.* Эволюция орбиты кометы Ашбрука-Джексона (1948 IX) за 400 лет (1660—2060).— Бюл. Ин-та теор. астрон. АН СССР, 1976, 14, с. 206—209.
6. *Беляев Н. А., Резников Е. А.* Исследование движения комет Гунна (1969 II) и Коджима (1970 XII) за 200 лет (1800—2000).— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1973, вып. 39, с. 110—115.
7. *Беляев Н. А., Стальбовский О. И.* Исследование движения кометы Свифта 2 (1895 II).— Тр. Томского ун-та, 1975, № 262, с. 20—26.
8. *Беляев Н. А., Шапоров С. Д.* Периодическая комета Швассмана—Вахмана 3 (1930 VI).— Пробл. космич. физики, 1975, вып. 10, с. 9—16.
9. *Евдокимов Ю. В., Евдокимов И. Ю.* Эволюция орбиты кометы Джакобини—Циннера за 400 лет (1660—2060).— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1974, вып. 40, с. 47—63.
10. *Казимирчак-Полонская Е. И.* Эволюция орбит коротко-периодических комет на интервале 1660—2060 гг. и роль внешних планет в этой эволюции.— Астрон. журн., 1967, 44, с. 439—460.
11. *Казимирчак-Полонская Е. И.* Решение некоторых актуальных задач кометной и метеорной астрономии.— В кн.: Современные проблемы небесной механики и астродинамики. М.—Л.: Наука, 1973, с. 290—311.
12. *Казимирчак-Полонская Е. И.* Захват комет Юпитером и некоторые закономерности в вековой эволюции кометных орбит.— В кн.: Астрометрия и небесная механика. М.—Л., 1978, с. 340—383.
13. *Казимирчак-Полонская Е. И., Шапоров О. Д.* Эволюция орбит комет Кирнса—Кви (1963 VIII) и Лекселя (1770 I) и некоторые закономерности преобразований кометных орбит в сфере действия Юпитера.— Астрон. журн., 1976, 53, с. 1306—1314.
14. *Кондратьева Е. Д.* Эволюция орбиты кометы Темпеля—Туттля за 400 лет (1660—2060).— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1976, вып. 41, с. 66—70.
15. *Кондратьева Е. Д.* Эволюция орбиты кометы Кроммелина.— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1978, вып. 44, с. 59—62.
16. *Кресак Л.* Происхождение короткопериодических метеоров.— Астрон. вестник, 1972, 6, № 2, с. 73—76.
17. *Мацуков К. П.* Эволюция орбиты кометы Шомасса за 400 лет (1660—2060).— Тр. Казанской городской астрон. обсерватории, 1976, вып. 41, с. 77—83.
18. *Радзиевский В. В.* Качественный анализ проблемы миграции комет.— Астрон. вестник, 1981, 15, № 1, с. 32—35.
19. *Субботин М. Ф.* Введение в теоретическую астрономию.— М.: Наука, 1968.— 800 с.
20. *Терентьева А. К.* Распределение по признаку величины постоянной Тиссерана для метеорных тел, комет и астероидов.— Вестн. Киев. ун-та. Сер. Астрономия, 1976, № 18, с. 62—71.
21. *Chang Y. C.* Halley's comet: tendencies in its orbital evolution and its ancient history.— Chinese astronomy, 1979, 3, p. 120—131.
22. *Everhart E.* Examination of several ideas of comet origin.— Astron. J., 1973, 78, p. 329—337.
23. *Everhart E.* The evolution of comet orbits.— In: The study of comets. NASA SP—393, Washington, 1976, p. 445—464.