

Негравитационные эффекты в орбитальном движении нескольких околосолнечных комет

© Ю. А. Чернетенко

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Космической обсерваторией SOHO обнаружены околосолнечные кометы с перигелийными расстояниями $q \approx 0.05$ а. е., которые наблюдались в течение нескольких проходов вблизи Солнца. В пяти появлениях наблюдались кометы 321P, 322P и 323P, в четырех — комета 342P, в трех — кометы P/1999 J6 = P/2004 V9 = P/2010 H3 (относятся к группе Марсдена) и C/1996 X3 = P/2002 S7 = P/2008 N4 (относятся к группе Крахта I). Это позволяет определить негравитационные эффекты в их движении и сравнить их с негравитационными эффектами других комет для выяснения возможных отличий этой группы малых тел от периодических и долгопериодических комет.

Для 6 комет получены параметры негравитационного ускорения (НУ) для нескольких видов его зависимости от гелиоцентрического расстояния. Ошибки представления наблюдений для всех вариантов каждой из комет близки и не позволяют отдать предпочтение ни одному из них. Выполнено сравнение полученных параметров НУ с аналогичными данными для всех нумерованных и долгопериодических комет из базы JPL. Не выявлены особенности, которые были бы характерны только для этой группы малых тел.

Ключевые слова: кометы, околосолнечные кометы, периодические кометы, долгопериодические кометы, негравитационные эффекты.

Контакты для связи: Чернетенко Юлия Андреевна (cya@iaaras.ru).

Статья поступила в редакцию 23.06.2020, принята к публикации 16.09.2020, опубликована 01.10.2020.

Для цитирования: Чернетенко Ю. А. Негравитационные эффекты в орбитальном движении нескольких околосолнечных комет // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 53. С. 67–73.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.53.67-73>

Nongravitational Effects in the Orbital Motions of Several Sunskirting Comets

Yu. A. Chernetenko

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Sunskirting comets moving in orbits with perihelion distances of $q \approx 0.05$ AU, which remained observable during several passages near the Sun, were discovered by the SOHO space observatory. Comets 321P, 322P and 323P were observed in five apparitions, and comet 342P — in four apparitions, comets P/1999 J6 = P/2004 V9 = P/2010 H3 (belong to the Marsden group) and C/1996 X3 = P/2002 S7 = P/2008 N4 (belong to the Kracht I group) — in three apparitions. This makes it possible to determine nongravitational effects in their orbital motions and compare them with the nongravitational effects of other comets to elucidate the possible differences between this group of small bodies and periodic and long-period comets.

For six comets, the parameters of nongravitational acceleration (NA) were obtained for several types of its dependence on the heliocentric distance. It turned out that residuals of observations for each comet for all the considered options are close and do not allow to give preference to any of them. Comparison of the NA parameters obtained with the corresponding parameters of all the periodic and long-period comets (JPL database) was fulfilled. From the point of view of the action of NA on the orbital motions of the comets considered, no features were revealed that would be characteristic only of this group of small bodies.

Keywords: comets, sunskirting comets, period comets, long-period comets, nongravitational effects.

Contacts: Yuliya Chernetenko (cya@iaaras.ru).

Received 23 June 2020, accepted 16 September 2020, published October 1, 2020.

For citation: Chernetenko Yu. A. Nongravitational effects in the orbital motions of several sunskirting comets // Transactions of IAA RAS. 2020. Vol. 53. P. 67–73.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.53.67-73>

Введение

В космической обсерватории SOHO обнаружено несколько околосолнечных комет, движущихся по орбитам с перигелийными расстояниями $q \approx 0.05$ а. е., которые оставались наблюдаемыми в течение нескольких проходов вблизи Солнца. В настоящее время имеются объекты, которые наблюдались уже в пяти (321P, 322P и 323P) и четырех (342P) появлениях. В трех появлениях наблюдались объекты P/1999J6 = P/2004V9 = P/2010H3 (относятся к группе Марседена) и C/1996X3 = P/2002S7 = P/2008N4 (относятся к группе Крахта I). Наличие наблюдений этих комет в нескольких появлениях позволяет определить их орбиты с учетом негравитационных эффектов (НЭ).

В работе [1] для комет 321P, 322P, 323P и 342P получены оценки НЭ на основе попарного объединения появлений (метод Дубяго [2]). Авторы пишут: «Проведенные вычисления показывают, что величина негравитационных эффектов в большой полуоси значительно изменяется с течением времени. На движение всех комет существенное влияние оказывают компоненты негравитационных сил, перпендикулярные к плоскости орбиты и для всех комет требуется при построении теории движения вводить негравитационные изменения в угловых элементах. Это находится в разительном отличии от поведения обычных комет, движущихся вдали от Солнца, для которых почти всегда удается построить удовлетворительную теорию движения без введения нормальной составляющей негравитационных сил». В этой же работе приводится подробная информация о наблюдениях этих комет и их точности.

Представляет интерес рассмотрение других предположений о зависимости действия НУ от гелиоцентрического расстояния и сравнение параметров НУ околосолнечных комет с соответствующими параметрами наблюдавшихся нумерованных (НК) и долгопериодических (ДПК) комет, что и является целью настоящей работы.

Определение орбит и параметров негравитационного ускорения

При определении орбит комет с учетом НУ принято учитывать их в соответствии с моделью Марседена [3] (функция $g(r)$) и рассматривать три составляющие: НУ — радиальную $A_1g(r)$, трансверсальную $A_2g(r)$ и нормальную $A_3g(r)$. Параметры A_1 , A_2 и A_3 определяются из наблюдений совместно с уточнением орбитальных параметров.

Можно допустить, что для рассматриваемых околосолнечных комет из-за малых перигелийных расстояний для учета НЭ предпочтительнее другие формы зависимости от гелиоцентрического расстояния r , поэтому в настоящей работе рассмотрены, кроме стандартной модели [3], зависи-

мости $1/r^k$, $k = 0, 1, 2$. Оказалось, что точность представления наблюдений практически одинакова для всех рассмотренных вариантов, что неудивительно, учитывая их небольшое количество, короткие интервалы наблюдений и низкую точность. Это обстоятельство не позволяет использовать значения СКО для выбора наилучших решений, и в дальнейшем рассмотрены результаты, полученные для двух видов зависимости $-1/r^2$ и $g(r)$.

Полученные результаты представлены в табл. 1. В первом столбце приводится обозначение кометы и критерий Тиссерана (КТ) относительно Юпитера. В столбцах 4–6 показаны только те решения, для которых ошибки A_2 не превышают его значение по абсолютной величине. Пустые клетки означают, что такой вариант не рассматривался, а прочерк — что соответствующий параметр не включался в улучшение. Данные JPL (Jet Propulsion Laboratory) взяты на сайте [4], MPC (Minor Planet Center) — на сайте [5]. Интересно отметить, что решения с $k = 0, 1$ или 2 обеспечивают лучшую обусловленность соответствующих нормальных систем и позволяют определить большее количество параметров по сравнению с решениями, использующими функцию $g(r)$. Однако вряд ли на этом основании можно делать выводы о том, что эти формы зависимости НУ являются более предпочтительными по сравнению с предложенной в [3], учитывая точность наблюдений, их количество и распределение по времени. Можно отметить, что параметр A_3 для рассмотренных комет (в тех случаях, когда он определяется с ошибкой, существенно меньшей абсолютного значения самого этого параметра) на 2–3 порядка больше, чем параметр A_2 . Значения критерия Тиссерана для всех приведенных в табл. 1 малых тел характерны для комет.

Из данных табл. 1 следует, что значения параметров A_2 , полученные в настоящей работе, не противоречат результатам JPL и MPC (кроме значения MPC для 342P). В MPC не рассматривается с учетом НЭ движение трех комет (321P, 322P, 323P), а в JPL — двух комет (322P и 323P), по видимому, из-за малого влияния НУ на движение соответствующих комет. (Интересно отметить, что, учитывая значения критерия Тиссерана, все эти тела являются кометами). А в работе [1] отмечается надежное определение негравитационных эффектов в большой полуоси для комет 321P и 322P.

По результатам табл. 1 затруднительно подтвердить или опровергнуть вывод работы [1] о наличии значительной нормальной составляющей НУ для комет 321P, 322P, 323P, 342P.

Так как часть рассматриваемых комет наблюдалась в четырех и пяти появлениях, то возможно оценить изменения параметра A_2 со временем,

Таблица 1

Результаты определения негравитационных параметров
 n — число появлений, N — число наблюдений

Комета, КТ	Интервал n, N	k	Настоящая работа			Данные JPL		Данные MPC	
			$A_1 \times 10^8$	$A_2 \times 10^8$	$A_3 \times 10^8$	$A_1 \times 10^8$	$A_2 \times 10^8$	$A_1 \times 10^8$	$A_2 \times 10^8$
			(а. е. / сут ²)			(а. е. / сут ²)		(а. е. / сут ²)	
321P 2.396	1997–2012 5, 90	0	-0.952 ±0.510	-0.00618 ±0.00036	-0.0211 ±0.0180				
		1	–	-0.00281 ±0.00016	–				
		2	–	-0.000272 ±0.000015	–				
		2	–	-0.000293 ±0.000101	-0.454 ±0.057				
		$g(r)$	–	-0.000179 ±0.000099	–	–	-0.000180 ±0.000091		
322P 2.347	1999–2015 5, 330	0	-0.764 ±0.108	0.00175 ±0.00036	–				
		1	-2.640 ±0.394	0.000908 ±0.000286	0.0245 ±0.0260				
		2	–	0.000131 ±0.000020	–				
		$g(r)$	–	0.0000883 ±0.0000135	–				
323P 2.261	1999–2016 5, 99	0	0.665 ±0.179	-0.0110 ±0.00256	–				
		1	–	-0.00968 ±0.00025	–				
		2	–	-0.000922 ±0.000024	–				
		$g(r)$	–	-0.000605 ±0.000016	–				
342P 1.986	2000–2016 4, 285	0	–	-0.2940 ±0.0022	-0.0009 ±0.0250				
		1	–	-0.163 ±0.00090	-0.108 ±0.085				
		2	–	-0.0172 ±0.000093	–				
		$g(r)$	–	-0.0115 ±0.00006	–	–	-0.0113 ±0.0004	–	0.00148
P/1999 J6 P/2004V9 P/2010H3 1.923	1999–2010 3, 267	2	–	-0.288 ±0.00012	-0.510 ±0.093				
		$g(r)$	–	-0.189 ±0.00008	–				
		$g(r)$	–	-0.189 ±0.00019	-1.974 ±0.370	39.45 ±15.52	-0.18900 ±0.00033	0.315	-0.189
C/1996X3 P/2002 S7 P/2008N4 1.879	1996–2008 3, 42	2	–	0.00420 ±0.00196	+2.800 ±0.880	Орбита первой из этих трех комет, C/1996X3, рассматривается независимо от орбиты P/2002 S7 = P/2008N4			
		2	–	0.00395 ±0.00045	–				
		$g(r)$	–	0.00259 ±0.00029	–			–	0.00274

объединяя появления последовательно по три или четыре. Эти результаты приводятся в табл. 2 для двух видов зависимости НУ от гелиоцентрического расстояния (оценивался только параметра A_2). Для комет 321P и 322P можно получить скорость изменения величины A_2 со временем, значения

приводятся в последнем столбце табл. 2. Для комет 323P и 342P в последнем столбце приводятся изменения за 5 лет. Наибольшие изменения A_2 со временем можно отметить для кометы 342P, возможны такие изменения для комет 321P и 322P, для кометы 323P изменения A_2 не определяются.

Изменения A_2 со временем

Комета	Интервал, год	Средний момент, год	$A_2 \cdot 10^8$ (а. е. / сут ²)	Вид зависимости НУ	Скорость изменения A_2 (а. е. / сут ²) / год
321P	1997–2004	2000.5	-0.00283 ± 0.00097	$1/r^2$	$(2.4 \pm 1.1)10^{-4}$
	2001–2008	2004.5	-0.00052 ± 0.00124		
	2004–2012	2008	-0.00074 ± 0.00012		
322P	1999–2007	2003	-0.00069 ± 0.00020	$1/r^2$	$(1.1 \pm 0.4)10^{-4}$
	2003–2011	2007	$+0.00065 \pm 0.00049$		
	2007–2015	2011	$+0.00023 \pm 0.00003$		
					Изменение за 5 лет (а. е. / сут ²)
323P	1999–2012	2005.5	-0.00074 ± 0.00015	$1/r^2$	$(2.0 \pm 1.8) 10^{-4}$
	2004–2016	2010.5	-0.00054 ± 0.00010		
342P	2000–2011	2005.5	-0.00839 ± 0.00022	$g(r)$	$(-48.4 \pm 2.4) 10^{-4}$
	2005–2016	2010.5	-0.01323 ± 0.00010		

Таким образом, насколько можно судить по данным табл. 2 об изменении со временем параметра A_2 , он как возрастает, так и убывает (по абсолютной величине).

Сравнение с негравитационными параметрами нумерованных и долгопериодических комет

НЭ в движении комет зависят от целого ряда параметров, часть из которых к тому же изменяется со временем: это масса, размер, форма, химический состав, особенности внутреннего строения, обстоятельства вращения (которое может быть сложным), параметры орбиты, количество прохождений кометы вблизи Солнца (возраст кометы). Исчерпывающая информация обо всех кометах отсутствует. Что касается параметров НУ, то для части комет получены три составляющие, для части — две, для некоторых — только одна. Далеко не для всех комет имеются оценки диаметров и данные о вращении их ядер. Все эти обстоятельства делают сравнение НЭ различных комет затруднительным. Однако количество комет с оцененными значениями параметров НУ позволяет получить все же некоторую информацию о связи этих параметров со 1) значениями перигелийных расстояний их орбит (известны для всех комет) и 2) значениями диаметров. При этом околосолнечные кометы также могут быть включены в рассмотрение.

Сопоставление полученных в настоящей работе для околосолнечных комет значений A_2 (модель Марседена) и всех имеющихся в базе JPL [4] значений параметра A_2 для нумерованных и долгопериодических комет с их перигелийными расстояниями показано на рис. 1. Для нумерованных комет $\log(|A_2|) = (-10.54 \pm 0.20) + (0.70 \pm 0.10)q$, для долгопериодических — $\log(|A_2|) = (-8.75 \pm 0.16) + (0.27 \pm 0.09)q$, и средние значения A_2 для нумерованных и долгопериодических комет раз-

личаются примерно на один — два порядка для $q = 0$.

Кометы 321P, 322P и 323P отклоняются от средних значений A_2 (рис. 1), но эти отклонения того же порядка, что и для комет 96P, 130P, 2P, 7P, 49P, 222P, 249P. Значения A_2 для трех других комет (342P, P/1999 J6 = P/2004 V9 = P/2010 H3 и C/1996 X3 = P/2002 S7 = P/2008 N4) близки к среднему значению для нумерованных комет.

Рассмотрим, как можно объяснить существование малых значений A_2 (считаем такими значениями значения $\log(|A_2|) < -11.0$). Из целого ряда возможных причин рассмотрим следующие: 1) общее истощение кометных льдов (в этом случае пропорционально должно уменьшаться и значение A_1); 2) уменьшение значения угла теплового запаздывания в плоскости орбиты, возникающее в результате быстрого нагрева при малых

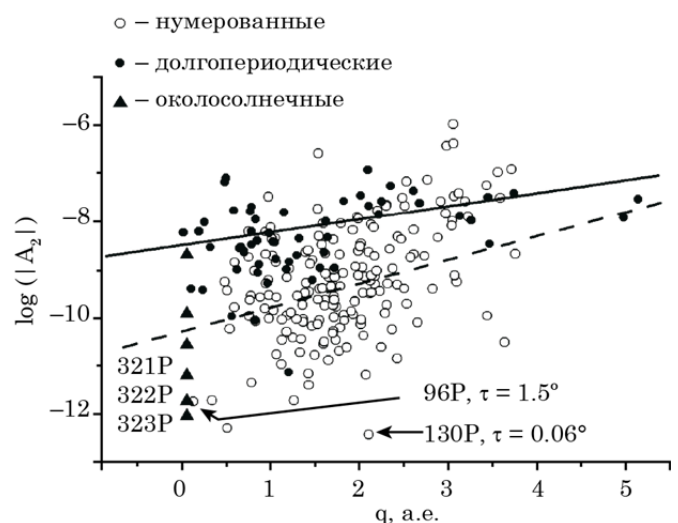


Рис. 1. Зависимость $\log(|A_2|)$ от перигелийного расстояния наблюдавшихся комет (184 нумерованных и 59 долгопериодических)

значениях q или по другим причинам, связанным с составом кометного ядра; 3) вращение ядра кометы, при котором ось вращения практически лежит в плоскости орбиты (максимальной в этом случае может быть составляющая A_3).

На рис. 2 показаны значения угла запаздывания τ ($\tau = \arctg(A_2/A_1)$) для 155 комет, для которых определены значения A_1 и A_2 (данные из базы JPL). Видно, что относительно малым значениям A_2 соответствуют малые значения угла запаздывания (обратное неверно). На рис. 3 сопоставление значений A_1 и A_2 показывает, что их изменения близки к пропорциональным, причем для средней части графика (большинство комет) параметр A_1 примерно на порядок больше A_2 , для больших значений они имеют близкие порядки, при малых значениях различаются примерно на два порядка.

Рассмотрим 3-ю из перечисленных причин, связанную с вращением кометных ядер. Для этого необходима информация о трех составляющих НУ, что в настоящее время известно, главным образом, для достаточно крупных комет (со средним значением диаметра ~ 5 км) с продолжительной

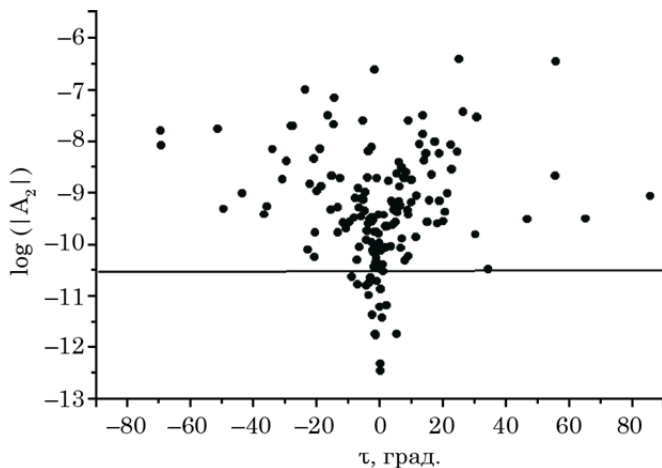


Рис. 2. Нумерованные кометы (угол теплового запаздывания и параметр A_2)

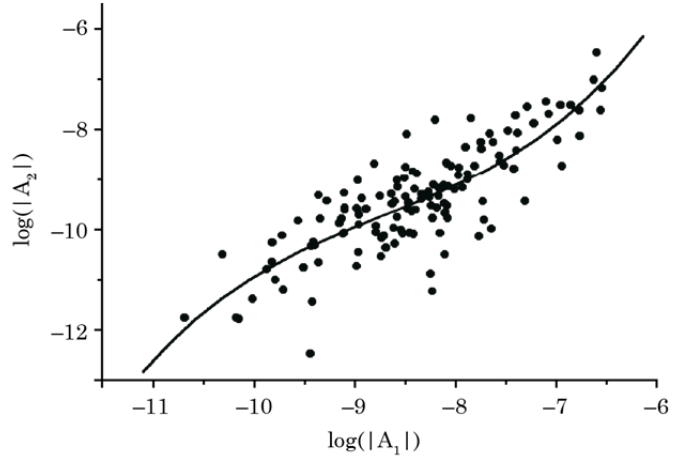


Рис. 3. Нумерованные кометы. Соотношение A_1 и A_2

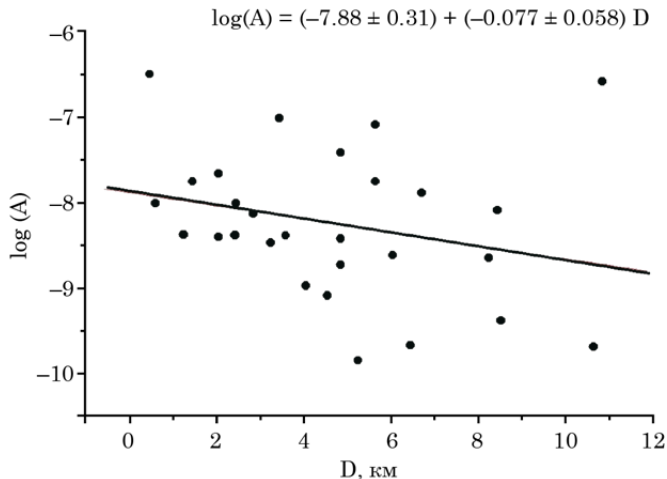
наблюдательной историей. В табл. 3 приводится информация о составляющих НУ для комет с малыми значениями A_2 и углах теплового запаздывания. Жирным шрифтом выделены значения A_3 , примерно на порядок больше остальных параметров, что можно объяснить незначительным наклоном оси вращения ядра к плоскости орбиты. Для остальных комет, рассмотренных в табл. 3, можно полагать, что малые значения A_2 отражают общий процесс потери кометой летучих составляющих.

Рассмотрен также вопрос о связи размеров кометных ядер с их параметрами НУ. Для этого все имеющиеся в базе JPL [4] значения параметров A_1, A_2, A_3 сопоставлены с имеющимися данными о диаметрах их ядер. Зависимость значений параметра A ($A^2 = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2$) от диаметров возможно оценить только для 28 комет (рис. 4). Диапазон значений диаметров этих кометных ядер составляет 0.42–11.0 км. При прочих равных условиях негравитационное ускорение ядра зависит от его радиуса R как $1/R$ и крайние значения A на рис. 4 для этого диапазона диаметров должны различаться примерно в 25 раз, т. е. больше, чем на

Таблица 3

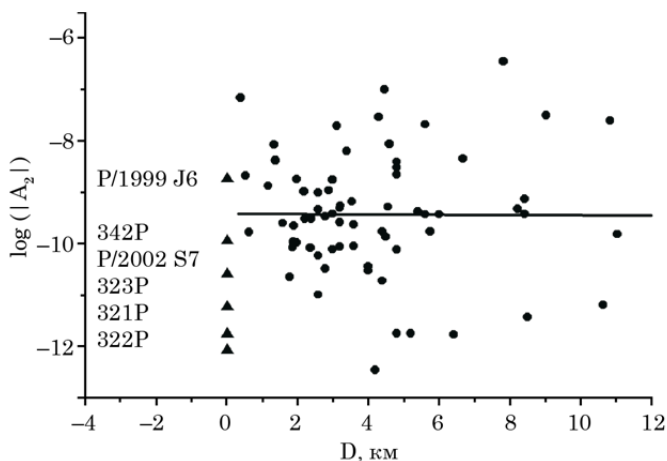
Углы теплового запаздывания для комет с малыми значениями A_2

Комета	q , а. е.	$A_1 \times 10^8$	$A_2 \times 10^8$	$A_3 \times 10^8$	τ , град.
		(а. е. / сут ²)			
2P	0.33	-0.0020	-0.00019	0.39	5.2
6P	1.36	0.34	-0.0089	-0.063	-1.5
7P	1.26	0.0066	-0.00019	-0.013	-1.6
10P	1.42	0.019	0.00066	0.0088	1.9
49P	1.42	-0.038	-0.00039	0.021	0.6
67P	1.24	0.11	-0.0037	0.025	-2.0
96P	0.13	0.0070	-0.00018	-0.021	-1.4
222P	0.78	0.0097	-0.00043	-	-2.6
249P	0.51	-	-0.000049	-	-

Рис. 4. Соотношение *диаметр* — $\log(A)$ для 28 комет

порядок. Для рассматриваемого ряда комет рис. 4 подтверждает, в общем, эту тенденцию, хотя наклон аппроксимационной прямой (определяемый неуверенно) должен быть больше примерно в два раза больше. Из этого следует, что размер кометного ядра является одним из факторов, определяющих величины НУ, и можно говорить только о некоторой тенденции такой зависимости.

Кометы 321P, 322P, 323P с близкими к нулю значениями A_2 могут согласовываться с графиком на рис. 4 только если их параметры A_1 и/или A_3 будут иметь порядок 10^{-8} – 10^{-9} , т. е. значения A_2 и A_1 , A_3 должны различаться примерно на четыре порядка. Здесь уместно повторить выводы работы [1] о том, что на движение этих комет существенное влияние оказывают компоненты негравитационных сил, перпендикулярные к плоскости орбиты (по оценке методом Дубяго). Поэтому различие между значениями A_2 и A_3 примерно на четыре порядка возможно. Решение для 321P (табл. 1, $k = 2$) показывает различие на 3 порядка.

Рис. 5. Соотношение *диаметр* — $\log(|A_2|)$ для 68 комет и 6 околосолнечных комет

Были взяты шесть околосолнечных комет и для них оказалось возможным определить только параметр A_2 . Размер ядра для кометы 322P оценен в работе [6] в 150–320 м. Полагая, что все рассматриваемые здесь околосолнечные кометы имеют примерно такой же диаметр, сопоставим эти данные с данными для других наблюдаемых комет. На рис. 5 сопоставлены значения A_2 68 комет (черные кружки) и рассматриваемых шести околосолнечных комет (треугольники) и их диаметры. Рис. 5 показывает, что зависимость между параметрами *диаметр* — $\log(|A_2|)$ не обнаруживается.

Обсуждение

Рассмотренные в настоящей работе околосолнечные кометы можно разделить на две группы — с относительно малыми значениями параметра A_2 (модель Марсдена) и значениями A_2 , близкими к некоторым средним значениям этого параметра: 321P, 322P, 323P и 342P, P/1999 J6, C/1996 X3. Параметр A_1 для этих комет определить не удастся, а параметр A_3 определяется только в нескольких случаях. Не удастся определить эти составляющие и для других видов зависимости НУ от гелиоцентрического расстояния.

Оценки НУ по методу Дубяго [1] показывают, что кометы 321P, 322P, 323P, 342P имеют значительные нормальные составляющие НУ, позволившие авторам предположить, что эта особенность характерна для околосолнечных комет.

Можно отметить также, что все шесть комет имеют значения критерия Тиссерана, характерные для комет, а не для астероидов.

В настоящей работе сопоставлены значения параметра НУ A_2 для этих комет, значения A_2 для наблюдавшихся комет (база JPL) и известные диаметры комет. Так как параметры НУ определяются целым рядом причин, то знание только параметра A_2 не позволяет оценить общее НУ и сделать однозначный вывод об особенностях комет первой группы: малые значения A_2 могут быть результатом того, что оси вращения их ядер имеют малые наклоны к плоскости их орбит.

В работе [6] рассмотрена комета 322P и, кроме цитированного уже значения диаметра этой кометы, получен ряд выводов, иногда противоречивых. Отмечается, что 322P может иметь скорее астероидную природу, чем кометную. Так, ее средняя плотность оценивается в ~ 1 г см $^{-3}$, что значительно больше средней плотности любой из известных комет, а показатели цвета указывают на принадлежность к астероидам типов V и Q, средняя плотность которых равна 2.7 г см $^{-3}$. С другой стороны, с учетом физических параметров ядра, время жизни 322P в этой работе оценивается в 10^3 – 10^5 лет, что сравнимо (или несколько меньше) с динамическим временем жизни комет семейства Юпитера и астероидов, сближающихся с Землей

(10^5 – 10^6 лет). Возможно также, что необычные свойства кометы 322P объясняются исключительно близкой к Солнцу орбитой, и такими изменениями ее поверхностного слоя, которые препятствуют ее разрушению из-за вращательной неустойчивости (период обращения = 2.8 ч). (Здесь можно заметить, что кометы 342P и P/1999 J6 с близкими к 322P значениями q имеют существенно большие значения параметра A_2). Отмечается, что близость орбит 322P и трех других околосолнечных комет указывает на их возможную динамическую связь, и нельзя исключить, что комета 322P могла образоваться в результате разрушения, вызванного вращательной неустойчивостью или резким градиентом температур.

Все изученные в [7] астероиды с малыми значениями q имели абсолютную величину ярче, чем 322P, поэтому, если их активность имеет тот же механизм, что и 322P, они должны были быть обнаружены SOHO несмотря на то, что имеют значения $0.05 \text{ а. е.} < q < 0.15 \text{ а. е.}$. Однако SOHO наблюдался только (3200) Фаэтон. Поэтому 322P может отличаться от этих астероидов. Одно из этих отличий состоит в том, что 322P в недавнем прошлом могла разрушиться, что привело к изменению характеристик ее поверхностного слоя.

Благодарность

Автор благодарит рецензента, Ю. Д. Медведева, за внимательное прочтение рукописи и высказанные критические замечания и предложения.

Литература

1. Емельяненко В. В., Нароенков С. А. Определение негравитационных эффектов в движении околосолнечных объектов 321P, 322P, 323P и 342P // Астрон. Вестник. 2018. Т. 52, №1. С. 73–78.
2. Дубяго А. Д. Движение короткопериодической кометы Брукса 2 с 1883 по 1946 гг. // Ученые записки Казанского университета. 1950. Т. 110. С. 5–8.
3. Marsden B. G., Sekanina Z., Yeomans D. K. Comets and nongravitational forces. V // Astron. J. 1973. Vol. 78. P. 211.
4. База данных JPL. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=123> (accessed 06.05.2020).
5. База данных MPC. URL: https://www.minorplanetcenter.net/db_search/ (accessed 04.05.2020).
6. Knight M. M., Fitzsimmons A., Kelley M. S. P., Snodgrass C. Comets 322P/SOHO 1: An asteroid with the smallest perihelion distance? // Astrophysical Journal Letters. 2016. Vol. 823. no. 1. 6 p.
7. Jewitt D. Properties of near-Sun asteroids // Astron. J. 2013. no. 145. doi:10.1088/0004-6256/145/5/133.