

УДК 523.64

Движение кометы Брукс 2 в зоне спутников Юпитера в 1886 г.

Н. Ю. Емельяненко

Исследуется орбита кометы Брукс 2 во время ее тесного сближения с Юпитером в 1886 г. Учитываются возмущения от 9 планет, галилеевых спутников и несферичности фигуры Юпитера. Во время сближения соприкосновение с планетой и выброс кометы из галилеевых спутников и Амальтеи исключаются.

THE MOTION OF COMET P/BROOKS 2 IN THE ZONE OF JOVIAN SATELLITES IN 1886, by Emet'yanenko N. Yu.— The orbit of comet P/Brooks 2 is investigated during its close encounter with Jupiter in 1886. The perturbations from 9 planets, Galilean satellites and Jupiter's oblateness are taken into account. The contact of the comet with Jupiter and its ejection from Galilean satellites and from Amalthea is dismissed.

На основе двух современных теорий движения кометы Брукс 2 [4, 9] исследуется самое тесное из обнаруженных до настоящего времени сближение короткопериодической кометы с Юпитером. Для вычислений взяты системы элементов И. Ю. Евдокимова, Ю. В. Евдокимова [4] и Марсдена [9]. Они обозначены «А» и «Б» соответственно.

Цель работы — уточнить минимальное расстояние кометы от Юпитера в период сближения в 1886 г., исследовать возможность сближения кометы с галилеевыми спутниками и Амальтеей, получить иоцентрическую орбиту кометы и провести ее анализ на основе полного учета гравитационных сил во время сближения.

Для численного интегрирования уравнений движения кометы использовались метод и программа Эверхарта 15-го порядка с переменным шагом [8]. Учитывались негравитационные эффекты, возмущения от всех планет и галилеевых спутников, несферичность фигуры Юпитера. В вычислениях использовались массы Юпитера и спутников, рекомендованные XVI Генеральной ассамблеей МАС [1].

На параметры и характеристики движения, определяемые в этой работе, оказывают влияние ошибки наблюдений, вычислений, методов построения численных теорий движения комет. Ошибки наблюдений сводились к возможному минимуму при построении теорий движения кометы [4, 9] и нами не анализировались. Специальными исследованиями установлено, что ошибки интегрирования, накапливающиеся при изучении этого сближения, малы и не изменяют иоцентрическую траекторию кометы. Орбиты кометы, основанные на системах элементов «А» и «Б», качественно одинаковы. Однако эти элементы не дают одновременности исследуемых событий и равенства определяемых параметров. Поэтому все исследуемые величины находились дважды и обозначались индексами «А» и «Б».

Характеристики движения кометы Брукс 2 в зоне галилеевых спутников приведены в табл. 1. Траектория движения кометы представлена на рис. 1.

Минимальные расстояния кометы от центра Юпитера, найденные А. Д. Дубяго [3], Г. Р. Кастель [6] и вычисленные в этой работе, близки между собой, несмотря на существенно различные методики вычислений и учитываемые возмущения. Средний экваториальный радиус Юпитера $r_{Ю} = 0.000466$ а. е. Из данных табл. 1 следует: $(\rho_{\min})_A \approx (\rho_{\min})_B \approx 2r_{Ю}$, т. е. комета прошла от поверхности Юпитера на расстоянии, равном радиусу планеты. Если комета Брукс 2 вблизи Юпитера двигалась только под действием гравитационных сил, то ее соприкосновение с планетой можно исключить.

Если принять плотность кометы $\sigma=1$ г/см³, предел Роша окажется $R=0.001038$ а. е., $R > (\rho_{\min})_A$, $R > (\rho_{\min})_B$. Брукс 2 — пока единственная (из обнаруженных) комета, проникшая в зону Роша Юпитера. Как известно, комета Брукс 2 с четырьмя спутниками наблюдалась в 1889 г. Исследования Ф. А. Бредихина [2] показали, что сила, вызвавшая распад кометы, действовала в плоскости ее орбиты, а разделение наступило скорее всего в результате громадного возмущающего

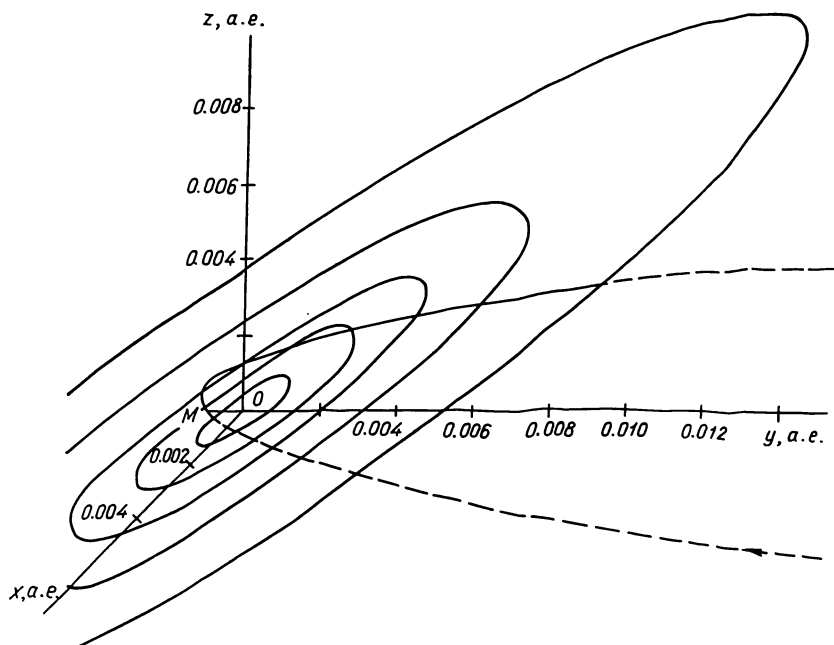


Рис. 1. Траектория движения кометы Брукс 2 в зоне I—V спутников Юпитера в 1886 г. $MO=\rho_{\min}$. Штриховой линией обозначено движение кометы под экваториальной плоскостью Юпитера

действия Юпитера. В. В. Емельяненко [5] определил, что разделение ядра кометы произошло вблизи момента максимального приближения к Юпитеру, и вычислил скорость разделения, которая оказалась незначительной (порядка 1 м/с). Наши вычисления подтверждают, что ближайшие окрестности перииовия — наиболее благоприятные для распада ядра, так как комета в это время находилась в зоне Роша.

Таблица 1. Характеристики движения кометы Брукс 2

Параметр	1	2	A	B
ρ_{\min} , а. е.	0.00096	0.00098	0.00098	0.00094
t_{\min} , J. D.	2410108.766	2410108.518	2410108.439	2410108.849
Номер спутника	Радиус сферы действия r_N , а. е.		Δ_{\min} , а. е.	
I	0.000052	—	0.0019	0.0018
II	0.000065	—	0.0033	0.0034
III	0.000163	—	0.0047	0.0061
IV	0.000250	—	0.0053	0.0055

Примечание. ρ_{\min} — минимальное расстояние кометы от центра Юпитера; t_{\min} — момент перииовия; 1 — вычисления А. Д. Дубяго. Учитывались возмущения от 5 планет (Венера — Сатурн) и сжатия Юпитера; 2 — вычисления Г. Р. Кастель. Учитывались возмущения от всех планет и сжатия Юпитера; Δ_{\min} — минимальное расстояние от спутника.

В ходе исследования рассматривался вопрос о сближении кометы с галилеевыми спутниками и Амальтеей. Вычисления показали, что наклон ивицентрической орбиты во время сближения непрерывно изменялся, и комета дважды пересекала экваториальную плоскость Юпитера. Оба пересечения произошли в зоне I—V спутников, поэтому исключить возможность сближения без дополнительного исследования нельзя. Исследование проводилось в два этапа: 1) изучалась возможность пересечения кометой орбиты каждого спутника; 2) определялись расстояния до галилеевых спутников.

Ивицентрическая орбита кометы — сложная кривая, описываемая непрерывно меняющимися оскулирующими эллипсами и гиперболами,

Рис. 2. Изменение экваториальной ивицентрической широты кометы φ во время пролета через зону галилеевых спутников

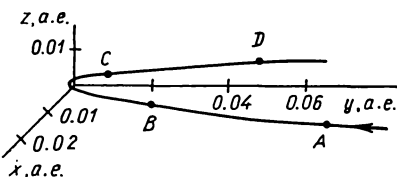
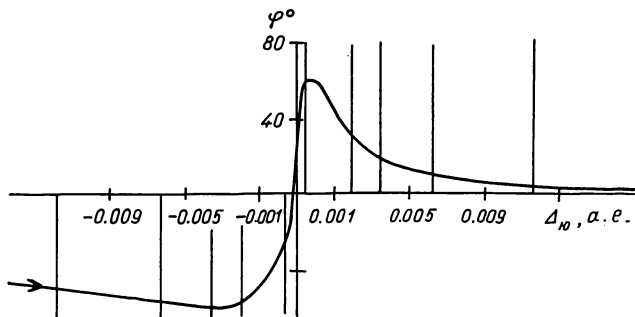


Рис. 3. AB, CD — участки траектории кометы Брукс 2 с оскулирующими ивицентрическими эллипсами. Юпитер — в начале системы координат

поэтому первый этап изучения был графическим. Строился график изменения экваториальной ивицентрической широты кометы φ с расстоянием кометы от Юпитера Δ_J (рис. 2). По графику находились значения угла φ для расстояний, равных орбитальным радиусам I—V спутников Юпитера (они показаны на рисунках вертикальными чертами). Этот метод позволил исключить столкновение с Амальтеей в обоих вариантах вычислений «А» и «Б», хотя мы и не располагали координатами этого спутника. Из рисунков следует, что только для орбиты Каллисто угол φ мал — примерно 3° , что делает возможным тесное сближение с ним кометы Брукс 2. Но, как показали вычисления с использованием координат галилеевых спутников, Каллисто в момент пролета кометы через зону спутников находился в противоположной части орбиты (его период обращения $P_K = 16.7$ сут).

Второй этап исследования позволил установить, что комета прошла от галилеевых спутников на расстояниях, которые в десятки раз превышают радиусы сфер их действия (табл. 1). Отсюда следует важный космогонический вывод о том, что выброс кометы Брукс 2 из I—V спутников Юпитера исключен.

В последние годы широко изучается возможность временного спутникового захвата (ВСЗ) кометы Юпитером. Получены [7] начальные условия, которым должна удовлетворять орбита кометы, чтобы во время ее тесного сближения с Юпитером могло возникнуть явление ВСЗ. Согласно [7], ВСЗ возникает всякий раз, когда оскулирующая орбита кометы на каком-либо участке становится ивицентрическим эллипсом. Выделено несколько комет, среди них — Брукс 2, орбиты которых удовлетворяют полученным начальным условиям [7]. Наши вычисления показали, что во время сближения 1886 г. комета Брукс 2

испытала явление ВСЗ: около 16 сут до минимума и около 10 сут после минимума оскулирующие ивицентрические элементы кометы были эллиптическими. Во время пролета через зону галилеевых спутников ее ивицентрическая орбита — гипербола. Движение кометы всюду прямое. Функция расстояния кометы от Юпитера имеет один минимум, траектория кометы не является замкнутой кривой (рис. 3). Во время ВСЗ элементы орбиты кометы непрерывно и быстро изменяются в широких пределах. Значения элементов за период с 2409517.4 *J. D.* по 2410468.6 *J. D.*, включающий минимальное приближение кометы к Юпитеру, приводятся в табл. 2.

Таблица 2. Элементы орбиты кометы Брукс 2 (вариант А)

Эф. время, <i>J. D.</i>	Δ_c , а. е.	e_c	V_c , км/с	$\Delta_{Ю}$, а. е.	$e_{Ю}$	$V_{Ю}$, км/с	$a_{Ю}$, а. е.	$i_{Ю}$, град
2409517.4	6.00	0.35	13.76	0.980	2.01	2.35	-0.220	5
10090.0 ВСЗ	5.42	0.80	17.00	0.080	0.99	5.11	0.150	9
10104.4 ВСЗ	5.45	1.42	19.91	0.037	0.65	8.31	0.047	14
10106.0 ВСЗ	5.45	4.74	30.65	0.004	0.99	21.08	0.240	15
10108.4 min	5.45	7.22	39.72	0.00098	2.37	42.50	-0.0005	87
10110.0 ВСЗ	5.45	0.96	4.89	0.014	0.94	11.49	0.082	52
10111.4 ВСЗ	5.44	0.89	5.28	0.022	0.28	9.29	0.006	26
10120.5 ВСЗ	5.44	0.71	7.22	0.060	0.99	6.17	0.134	14
2410468.6	4.87	0.48	11.12	0.830	1.82	3.50	-0.082	6

Примечание. Δ_c — расстояние кометы от Солнца; e_c , V_c — гелиоцентрические эксцентриситет и модуль скорости кометы; $e_{Ю}$, $a_{Ю}$, $i_{Ю}$, $V_{Ю}$ — ивицентрические элементы и модуль скорости кометы; $\Delta_{Ю}$ — расстояние кометы от Юпитера.

Выводы. 1. Комета Брукс 2 в период сближения 1886 г. прошла от поверхности Юпитера на расстоянии его экваториального радиуса: $\rho_{\min} = 0.00094 \div 0.00098$ (а. е.). В окрестности перниовия она была в зоне Роша. 2. Столкновения с галилеевыми спутниками и Амальтеей исключаются. Комета прошла от галилеевых спутников на расстояниях, которые в десятки раз больше радиусов сфер действия спутников. 3. Во время сближения около месяца комета Брукс 2 перемещалась по оскулирующим ивицентрическим эллипсам.

Автор считает своим долгом выразить благодарность Ю. В. Евдокимову за оказанную помощь.

1. Абалакин В. К. Основы эфемеридной астрономии.— М.: Наука, 1979.—448 с.
2. Бредихин Ф. А. О некоторых случаях дробления комет // Эгюды о метеорах.— М., 1954.— С. 261—285.
3. Дубяго А. Д. Движение периодической кометы Брукса с 1883 по 1946 гг. // Учен. зап. Казан. ун-та.— 1950.—110, № 8.— С. 5—44.
4. Евдокимов И. Ю., Евдокимов Ю. В. О негравитационных эффектах в движении кометы Брукс 2 // Кометы и метеоры.— 1980.— Вып. 29/31.— С. 73—82.
5. Емельяненко В. В. О распаде короткопериодических комет Тейлора и Брукса 2 // Комет. циркуляр.— 1976.— № 203.— С. 3.
6. Кастель Г. Р. Исследование тесного сближения кометы Брукса с Юпитером в 1886 г. // Бюл. Ин-та теорет. астрон.— 1965.—10, № 2.— С. 118—142.
7. Carusi A., Kresak L., Valsecchi G. B. Orbital patterns of interplanetary objects at close encounters with Jupiter // Bull. Astron. Inst. Czech.— 1982.—33, N 3.— P. 141—150.
8. Everhart E. Implicit single-sequence methods for intergrating orbits // Celes. Mech.— 1974.—10, N 1.— P. 35—55.
9. Marsden B. G. Catalogue of cometary orbits.— Cambridge: Smithson. Astrophys. Observ., 1982.