

УДК 523.64-35

Ю. В. Сизоненко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27

Кометы C/2001 Q4 и C/2004 Q2: структуры плазменных хвостов

Для комет C/2001 Q4 (NEAT) и C/2004 Q2 (Machholz) определены углы отклонения оси плазменного хвоста от направления продолженного радиуса-вектора кометы. Эти величины использованы для расчета скорости радиальной составляющей солнечного ветра в мае 2004 г. и январе — феврале 2005 г. Вычисленные значения скорости сравнивались со значениями скорости солнечного ветра в околоземном пространстве, полученными с помощью космических аппаратов. Обсуждаются возможные причины их различия.

КОМЕТИ C/2001 Q4 I C/2004 Q2: СТРУКТУРИ ПЛАЗМОВИХ ХВОСТІВ, Сизоненко Ю. В. — Для комет C/2001 Q4 (NEAT) і C/2004 Q2 (Machholz) визначені кути відхилення осі плазмового хвоста від напрямку продовженого радіуса-вектора комети. Ці величини використано для розрахунку швидкості радіальної складової сонячного вітру в травні 2004 р. та в січні-лютому 2005 р. Обчислені значення швидкості порівнювались із значеннями швидкості сонячного вітру в навколоземному просторі, отриманими за допомогою космічних апаратів. Обговорюються можливі причини їхніх розходжень.

COMETS C/2001 Q4 AND C/2004 Q2: STRUCTURES OF PLASMA TAILS, Sizonenko Yu. V. — The angles of aberration of plasma tail axes from direction of prolonged radius-vector of the comets C/2001 Q4 (NEAT) and C/2004 Q2 (Machholz) are calculated. The values were used to obtain the radial component of solar wind velocity in May 2004 and in January—February 2005. The values of solar wind velocity obtained from the comet aberration angles and from satellite data are compared. Possible causes of disagreement between the values obtained are discussed.

ВВЕДЕНИЕ

Кометы C/2001 Q4 (NEAT) и C/2004 Q2 (Machholz) наблюдались в ГАО НАН Украины соответственно в мае 2004 г. и в январе — феврале 2005 г. Во время наблюдений обе кометы находились недалеко от Земли и от Солнца, что позволило наблюдать у них протяженные пылевые и плазменные хвосты. Наблюдения комет происходили во время спада солнечной

активности, которое характеризуется чередованием быстрых и медленных потоков солнечного ветра в межпланетном пространстве. Структура плазменных хвостов комет исследовалась для того, чтобы определить скорости потоков солнечного ветра, встречающих на своем пути хвосты комет. Известно [4], что угол отклонения оси плазменного хвоста от продолженного радиуса-вектора кометы зависит от скорости потока солнечного ветра, взаимодействующего с хвостом. С началом регулярных измерений скорости солнечного ветра космическими аппаратами в околоземном пространстве, появилась возможность сравнить значения скорости солнечного ветра, полученные путем измерения отклонения кометных хвостов, с прямыми измерениями скорости солнечного ветра. Обе кометы во время наблюдений находились вблизи плоскости эклиптики и на небольшом расстоянии от Земли, что позволило нам сравнить наши определения скорости солнечного ветра с измерениями этой величины космическими аппаратами.

НАБЛЮДЕНИЯ

Кометы C/2001 Q4 (NEAT) и C/2004 Q2 (Machholz) наблюдались с помощью телескопа ДША ($D = 40$ см, $F = 2$ м) в Главной астрономической обсерватории НАН Украины. Астрограф ДША предназначен для фотографических наблюдений небесных объектов. Фактическое прекращение выпуска фотографических пластинок в 1990 г. привело к остановке наблюдений на телескопе. Доступные нам ПЗС-приемники не обладают необходимым полем зрения. Нам удалось возобновить фотографические наблюдения, используя фотопленку Kodak T-Max 400. Приставка к фотографической кассете телескопа позволяет получать на фотопленке изображения с размером поля зрения $1.6^\circ \times 1.6^\circ$. Телескоп ДША обладает сильной хроматической аберрацией, поэтому, чтобы добиться резкого изображения при съемке с изопанхроматической пленкой, пришлось применять стеклянные фильтры. Снимки с фильтром ФС-6 позволяют регистрировать излучение хвоста кометы в полосе $\Delta\lambda = 110$ нм с максимумом пропускания у $\lambda = 450$ нм, а с фильтром КС-11 — в полосе $\Delta\lambda = 65$ нм с максимумом пропускания у $\lambda = 620$ нм.

Для наблюдений комет C/2001 Q4 и C/2004 Q2 применен фильтр ФС-6, на снимках получены изображения плазменных хвостов и значительно ослабленных пылевых хвостов.

Чтобы дополнить наши данные, мы использовали снимки комет C/2001 Q4 и C/2004 Q2, размещенные на сайтах <http://www.observatorij.org>, <http://www.fg-kometen.de>, <http://www.schweifstern.de>. Для обработки отобранных снимки тех наблюдателей, которые не возражали против использования их материалов в научных целях, не делали геометрических преобразований снимков и указали моменты наблюдений. Все отобранные снимки получены с помощью короткофокусных телескопов или телескопических камер с применением ПЗС-камер.

В таблице приведены обстоятельства наблюдений комет C/2001 Q4 (NEAT) и C/2004 Q2 (Machholz). Представлены номер снимка, момент UT начала экспозиции, длительность ΔT экспозиции в минутах, угол S между плоскостью орбиты кометы и картинной плоскостью снимка, фазовый угол φ кометы, фокусное расстояние F телескопа и инициалы наблюдателей. Для измерений положений структурных деталей в хвостах комет использованы позитивные копии фотопленок на фотопластинках ORWO FU-5. Контактное копирование позволило избежать ошибок при измерениях, связанных с деформацией пленок, а повышение контраста изображения подчеркнуло слабо проработанные детали снимков.

Обстоятельства наблюдений комет C/2001 Q4 (NEAT) и C/2004 Q2 (Machholz)

Номер снимка	Дата, УТ	ΔT , мин	S , град	φ , град	F , см	Наблюдатели
C/2001 Q4 (NEAT)						
1.2	2004, май 13.81205	20	6.6	85.5	200	ЮС
1.3	13.83021	10	6.8	85.5	200	ЮС
2.1	14.81267	15	9.9	84.7	200	ЮС
2.2	14.82639	15	10.0	84.9	200	ЮС
2.4	14.84097	15	10.0	84.7	200	ЮС
4i1	14.88800	10	10.1	84.6	18	NM
4i2	14.90550	20	10.2	84.6	18	WS
4i3	15.88750	10	13.3	83.8	18	NM
4i4	15.89770	30	13.3	83.8	18	WS
4i6	16.85560	1	16.2	82.8	200	HM
4i7	16.89370	1	16.4	82.7	200	HM
4i8	17.86110	2.25	18.9	81.8	120	TS
3.2	17.88260	20	19.0	81.7	200	ЮС
4i10	18.85764	1.5	21.4	80.7	198	HM
3.4	19.84907	20	23.5	79.5	200	ЮС
3.5	19.85903	20	23.6	79.6	200	ЮС
3.6	19.87581	20	23.6	79.6	200	ЮС
3.7	20.90194	20	25.7	78.5	200	ЮС
C/2004 Q2 (Machholz)						
4.7	2005, январь 08.84861	25	63.2	38.8	200	ЮС
4.10	08.92569	30	63.0	38.9	200	ЮС
5.2	08.95560	25	62.9	38.9	200	ЮС
5.4	09.69028	25	62.9	39.7	200	ЮС
2i1	15.89240	15	62.9	44.8	44	NM
2i2	15.96389	15	62.8	44.8	18	NM
2i3	17.00417	2.5	60.5	45.6	198	HM
5.7	17.94618	25	59.3	46.3	200	ЮС
5.9	17.99479	25	59.2	46.3	200	ЮС
2i4	30.79167	6	40.0	51.8	30	MJ+GR
6.4	2005, февраль 04.80774	25	38.9	52.3	200	ЮС
6.6	05.69722	25	38.8	52.3	200	ЮС
6.8	05.74306	25	38.8	52.3	200	ЮС
6.9	05.76453	25	38.8	52.3	200	ЮС
2i5	05.97222	3.3	38.8	52.3	30	MJ+GR
7.3	06.70486	25	38.8	52.3	200	ЮС
7.5	06.75243	25	38.8	52.3	200	ЮС
2i7	06.79167	9	38.8	52.3	40	NM+WS
2i8	06.81944	3	38.8	52.3	198	HM
2i9	06.87153	15	38.8	52.3	40	NM
7.8	10.68924	25	38.8	52.0	200	ЮС

Примечание: ЮС — Ю. Сизоненко, NM — N. Mrozek, WS — W. Skorupa, HM — H. Mikuz, TS — T. Spenko, MJ — M. Jager, GR — G. Rhemann.

Измерения положений структурных деталей выполнены на измерительной машине «Аскорекорд». Измерялись положения характерных точек снимка (ось хвоста, деталь структуры).

Для обработки снимков из интернета использовались пиксельные координаты звезд и кометных структур. Точность определения координат на снимках из интернета зависит от фокусного расстояния объектива и размеров пикселя ПЗС-приемника. В тех случаях, когда контрольные определения экваториальных координат звезд в кадре были неудовлетворительными (ошибка больше 5"), снимок исключался из списка обработки.

СТРУКТУРА ХВОСТОВ КОМЕТ C/2001 Q4 И C/2004 Q2

Комета C/2001 Q4 в середине мая 2004 г. наблюдалась в ракурсе, при котором хвост первого типа находился почти на одной прямой с осью хвоста второго типа. Поэтому наблюдателю казалось, что хвосты кометы наложены один на другой. Плазменный хвост, состоящий из нескольких лучей, наблюдался на фоне более короткого, почти прямого, диффузного хвоста II типа. На протяжении периода наблюдений (с 13 по 19 мая) проекция оси плазменного хвоста перемещалась в направлении от ведомой к ведущей границе хвоста II типа. Это видимое движение плазменного хвоста относительно оси пылевого хвоста связано с изменением положения наблюдателя и кометы в пространстве, а не с истинным изменением ориентации оси хвоста I типа. На снимках 14 и 19 мая в хвосте первого типа видны сгущения, которые принято интерпретировать как облачные образования.

Для кометы C/2004 Q2 на протяжении всего периода наблюдений характерно раздельное расположение хвостов I и II типа. В хвосте I типа, часто состоящего из нескольких лучей, наблюдались облачные образования и изгибы, например 8 января 2005 г. Следует отметить резкое уменьшение ширины плазменного хвоста кометы 6 февраля 2005 г. с последующим восстановлением ее 10 февраля. Возможно, это связано с взаимодействием хвоста кометы с неоднородностью в потоке солнечного ветра.

Для того чтобы отследить истинные изменения положения оси хвоста I типа относительно продолженного радиуса-вектора кометы (продолжение в сторону хвоста прямой, соединяющей центр гелиоцентрической системы координат и ядро кометы) мы преобразовали измеренные координаты структурных образований хвоста I типа в кометоцентрические координаты, воспользовавшись алгоритмом, описанным в работе [3]. Это преобразование позволило построить структурные карты плазменных хвостов в проекции на орбитальную плоскость кометы. Одна из таких карт для кометы C/2001 Q4 14 мая 2004 г. приведена на рис. 1. На карте в кометоцентрических координатах нанесены положения ядра кометы и точек вдоль оси хвоста первого типа, луча в плазменном хвосте, а также вдоль видимых границ хвоста второго типа.

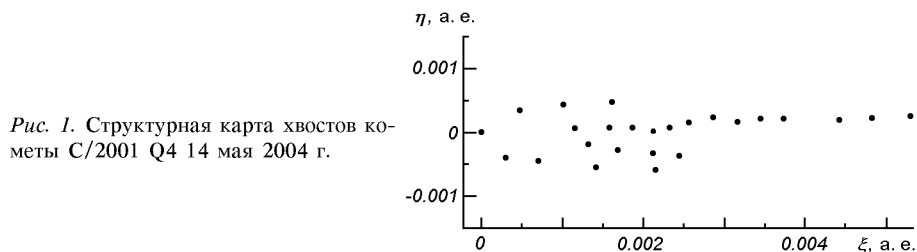


Рис. 1. Структурная карта хвостов кометы C/2001 Q4 14 мая 2004 г.

ОРИЕНТАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ХВОСТОВ КОМЕТ И СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Согласно работе [1] векторное уравнение для оси потока кометных ионов можно записать в виде

$$\mathbf{T} = \mathbf{w} - \mathbf{V},$$

где \mathbf{T} — вектор направления хвоста, \mathbf{w} — вектор скорости солнечного ветра, \mathbf{V} — вектор орбитальной скорости кометы. Проектирование этих векторов на плоскость кометной орбиты при условии, что комета находится вблизи плоскости эклиптики, а вектор скорости солнечного ветра можно разложить на радиальную и азимутальную составляющие, позволяет найти выражение

для угла ε отклонения проекции оси хвоста от продолженного радиуса-вектора кометы:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{V \sin \gamma - w_{\varphi} \cos i}{w_r - V \cos \gamma}, \quad (1)$$

где w_r , w_{φ} — радиальная и азимутальная составляющие скорости солнечного ветра, γ — угол между продолжением радиуса-вектора кометы и вектором орбитальной скорости кометы, i — угол наклона орбиты кометы к плоскости солнечного экватора. Заметим, что величины V , γ , i вычисляются по эфемеридным данным. Выражение (1) не позволяет без дополнительных предположений определить величины радиальной и азимутальной составляющих скорости солнечного ветра. В работе [1] приведены результаты статистических исследований более 600 наблюдений плазменных хвостов комет, из которых получены средние значения $w_r = 450 \pm 11$ км/с, $w_{\varphi} = 8.4 \pm 1.3$ км/с. Прямые измерения w_{φ} , выполненные на космических аппаратах, дали величину этой составляющей скорости солнечного ветра, близкую к величине, полученной из кометных наблюдений. Очевидно, что небольшие отклонения w_{φ} от среднего значения не окажут значительного влияния на величину $\operatorname{tg} \varepsilon$ в выражении (1), кроме тех редких случаев, когда $\sin \gamma \rightarrow 0$. Мы посчитали возможным подставить среднее значение $w_{\varphi} = 8.4$ км/с в выражение (1), а само выражение (1) преобразовали для вычисления радиальной составляющей скорости солнечного ветра w_r :

$$w_r = \frac{V \sin \gamma - w_{\varphi} \cos i}{\operatorname{tg} \varepsilon} + V \cos \gamma, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \varepsilon = \eta / \xi$ равно отношению кометоцентрических координат точки на оси плазменного хвоста. Можно предположить, что значения w_r из (2) будут вычисляться со значительной погрешностью, поскольку они сильно зависят от значений $\operatorname{tg} \varepsilon$, которые определяются с невысокой точностью. Оценим доверительный интервал для величины w_r , пользуясь общими представлениями теории ошибок. Как известно [2], средняя квадратичная ошибка вычисления сложной функции $y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ равна

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2}. \quad (3)$$

Вычислим среднюю квадратичную ошибку σ_w величины w_r (2), считая ее сложной функцией $w_r = f(\operatorname{tg} \varepsilon, w_{\varphi}, V, i, \gamma)$. Слагаемыми, которые вносят величины V , i , γ в выражение для σ_w , можно пренебречь, поскольку они определяются только точностью вычисления орбитальных элементов комет и значительно меньше слагаемых, вносимых ошибками измерений. Тогда

$$\sigma_w \approx \sqrt{\left(\frac{V \sin \gamma - w_{\varphi} \cos i}{\operatorname{tg} \varepsilon^2} \sigma_{\varepsilon} \right)^2 + \left(\frac{\cos i}{\operatorname{tg} \varepsilon} \sigma_{\varphi} \right)^2}, \quad (4)$$

где σ_{ε} — средняя квадратичная ошибка определения величины $\operatorname{tg} \varepsilon$, а σ_{φ} равна половине доверительного интервала величины w_{φ} . Размерность σ_w — км/с.

В свою очередь, погрешность определения величины $\operatorname{tg} \varepsilon$ состоит из погрешности измерений координат и погрешности проецирования измеренных координат на кометоцентрическую плоскость, а также субъективной ошибки нанесения точек оси хвоста и погрешности, которая вносится представлением оси хвоста в виде прямой, исходящей из ядра. Только

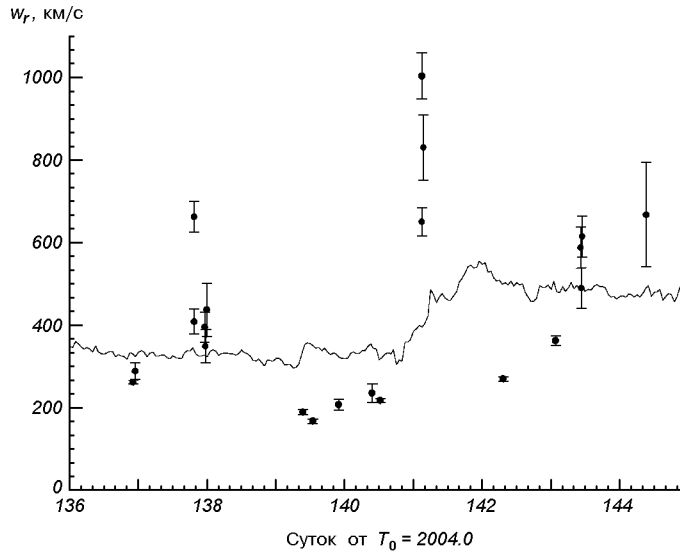


Рис. 2. Скорость солнечного ветра по прямым измерениям (сплошная кривая) и наблюдениям плазменного хвоста кометы C/2001 Q4 (точки)

первое из этих слагаемых можно определить без больших допущений. Поэтому мы воспользуемся для оценки величины σ_w выражением (4), считая определение tge первичным источником погрешностей. Находим σ_ε из нескольких определений tge по одному снимку и подставляем его значение в (4). С найденным значением σ_w вычисляем величину доверительного интервала E :

$$E = t_\sigma \sigma_w,$$

где t_σ — критерий Стьюдента для доверительной вероятности $P = 0.95$. Величина доверительного интервала значения скорости солнечного ветра нанесена на рис. 2 и 3 для каждого определения скорости по углу отклонения оси хвоста от продолженного радиуса-вектора.

На рис. 2 и 3 приведены значения w_r , определенные из наблюдений комет C/2001 Q4 и кометы C/2004 Q2, а также средние значения скорости солнечного ветра с интервалом в 1 ч по данным измерений на околоземной орбите с космических аппаратов (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>). Мы сопоставили эти данные на одной временной шкале, полагая для каждого наблюдения кометы, что один и тот же поток солнечного ветра встретился и с кометой, и с Землей. Для того чтобы это предположение осуществилось, необходимо выполнение одного из наборов условий:

$$R - r > 0, \quad L_E - L_c > 0$$

или

$$r - R > 0, \quad L_c - L_E > 0,$$

где R , r — гелиоцентрические расстояния Земли и кометы, L_E , L_c — гелиоцентрические долготы Земли и кометы. Поскольку область потока с однородными параметрами (скорость, плотность, напряженность магнитного поля) имеет конечные размеры, логично потребовать, чтобы комета находилась недалеко от плоскости эклиптики. Необходимость этого условия

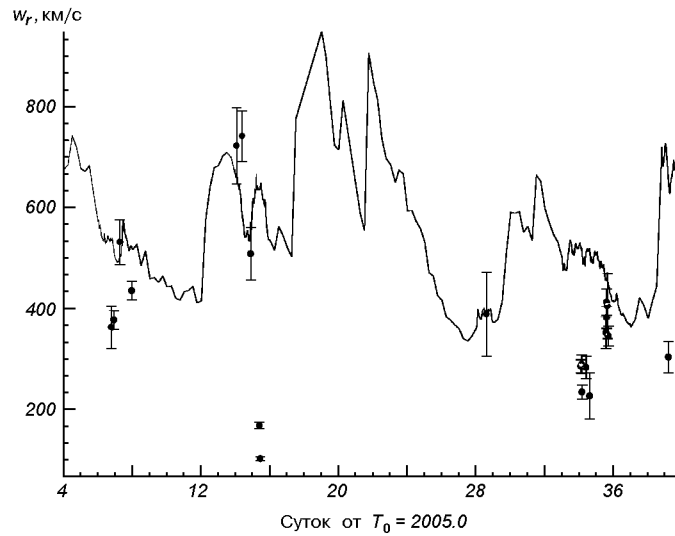


Рис. 3. Скорость солнечного ветра по прямым измерениям (сплошная кривая) и наблюдениям плазменного хвоста кометы C/2004 Q2 (точки)

подтверждается наличием гелиоширотного распределения по скоростям потоков солнечного ветра [5]. Согласно эфемеридам (<http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>) за время наблюдений гелиоцентрическая широта кометы C/2001 Q4 изменялась от -2 до 7° , а кометы C/2004 Q2 — от 2 до 20° .

Время τ , которое проходит между последовательными встречами потока солнечного ветра с Землей и кометой, можно рассчитать следующим образом:

$$\tau = \tau_r + \tau_L = \frac{R - r}{w_r} + \frac{L_E - L_c}{\Omega_S}, \quad (5)$$

где Ω_S — угловая скорость вращения Солнца, τ_r — время распространения частиц потока, τ_L — время поворота силовой линии магнитного поля.

Мы рассчитали интервал τ для каждого из наблюдений и сопоставили на одной временной шкале наши определения скорости солнечного ветра с прямыми измерениями этой величины на околоземной орбите, сдвинув по временной шкале на этот интервал данные, полученные из наблюдений комет. Результат такого сопоставления для кометы C/2001 Q4 можно видеть на рис. 2 и для кометы C/2004 Q2 на рис. 3. Анализ данных на рис. 2 и 3 показывает, что совпадение данных, полученных двумя способами, не очень хорошее. Определения скорости солнечного ветра при больших отклонениях оси хвоста ($\epsilon = 7...15^\circ$) всегда дают более низкие значения скорости, чем прямые измерения. Результаты определения скорости по абберационному углу лучше соответствуют прямым измерениям скорости солнечного ветра при значениях $\epsilon = 3...7^\circ$. Однако и для этих значений разности величин скорости солнечного ветра выходят за пределы доверительного интервала. Для кометы C/2001 Q4 следует отметить как минимум два случая, когда быстрой смене направления оси хвоста кометы соответствует плавное изменение скорости солнечного ветра, полученное по прямым измерениям на околоземной орбите. Для кометы C/2004 Q2 видны существенные различия значений скорости в конце периода наблюдений (февраль 2005 г.), а также 15 января 2005 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Значительные расхождения значений скорости солнечного ветра, полученных из наблюдений комет и прямых измерений, требуют обсуждения причин такого несоответствия. Обычно такие расхождения объясняют или низкой точностью кометных наблюдений [1] или пребыванием кометы и космического аппарата в разных потоках солнечного ветра [7]. Однако эти причины не исчерпывают полностью все случаи расхождений, которые можно отметить на рис. 2 и 3.

Систематическое занижение значений скорости солнечного ветра (на 50—100 км/с) по наблюдениям кометы C/2001 Q4 при больших углах отклонения оси плазменного хвоста невозможно объяснить ошибками измерений. Это видно по величине доверительных интервалов, полученных нами для каждого из этих наблюдений. Причина такого занижения скорости не совсем ясна. Мы можем лишь предположить наличие силы, не учтенной векторным уравнением для оси кометного хвоста, упоминавшимся выше. При больших значениях скорости солнечного ветра действие этой силы не существенно, оно сказывается лишь при минимальном воздействии солнечного ветра на кометные ионы.

Подъем скорости солнечного ветра, начавшийся 141.0^d 2004 г., на рис. 2 сопровождается сначала заниженными, а потом завышенными значениями скорости солнечного ветра, определенными из кометных наблюдений. Возможно, что эти отклонения вызваны прохождением тангенциального разрыва скорости в потоке солнечного ветра. При этом явлении наблюдаются [6] отклонения вектора скорости сначала в одну, а затем в другую сторону от радиального направления. Ориентация плазменных зондов космических аппаратов в одном направлении не позволяет отследить эти колебания вектора скорости, а хвосты комет откликаются на них.

Рис. 3 относится к более продолжительному интервалу времени, чем рис. 2. При этом космическими измерениями зарегистрированы резкие перепады скорости за непродолжительное время. Довольно часто определение скорости солнечного ветра по наблюдениям хвоста этой кометы дает результаты, отличающийся от прямого измерения. Почти все такие случаи можно объяснить или ошибками определений направления хвоста (большие доверительные интервалы величины w_x) или тем, что Земля и комета попадают в разные потоки солнечного ветра (5—10 февраля 2005 г. разность гелиоцентрических широт около 20°). Случай 15 января требует другого объяснения. В работе [8] описаны результаты моделирования взаимодействия различных возмущений в солнечном ветре с кометными хвостами. Моделирование взаимодействия кометного хвоста с переходом от быстрого к медленному потоку солнечного ветра показывает, что такое взаимодействие сопровождается резким изменением направления оси хвоста (около 10°) и разделением хвоста на два потока на большом удалении от ядра. Оба эти признака имеют место и в случае наших наблюдений, отвечающих на графике точкам от 15 января. Более того, измерения скорости солнечного ветра на околоземной орбите с 15.20 по 16.25 января показывают быстрое уменьшение скорости почти на 150 км/с. Возможно причина заниженных значений скорости в дополнительном отклонении оси хвоста, вызванном этим возмущением в солнечном ветре.

ВЫВОДЫ

Благодаря нахождению наблюдаемых комет C/2001 Q4 и C/2004 Q2 вблизи плоскости эклиптики мы смогли сравнить скорости солнечного ветра,

определенные по наблюдениям абберационных углов кометных хвостов, с измеренными на околоземной орбите скоростями. Сравнение показывает пригодность абберационной теории для описания взаимодействия кометных хвостов со спокойным солнечным ветром. В тоже время наблюдения особенностей структуры плазменных кометных хвостов могут служить индикатором возмущений в солнечном ветре, если мы будем знать, какое именно возмущение вызывает этот тип особенностей в структуре хвоста.

Автор благодарит всех наблюдателей комет C/2001 Q4 и C/2004 Q2, чьими снимками он воспользовался в своей работе.

1. *Брандт Дж.* Солнечный ветер. Введение в проблему. — М.: Мир, 1973.—207 с.
2. *Зайдель А. Н.* Элементарные оценки ошибок измерений. — Л.: Наука, 1968.—97 с.
3. *Коноплева В. П., Розенбуш В. К.* Перспективное проектирование изображений комет на плоскость орбиты // Астрометрия и астрофизика.—1974.—Вып. 22.—С. 61—68.
4. *Biermann L.* Kometenschweife und solar Korpuscularstrahlung // *Z. Astrophys.*—1951.—29.—P. 279—286.
5. *Brandt J. C., Snow M.* Heliospheric Latitude Variations of Properties of Cometary Plasma Tails: A Test of the Ulysses Comet Watch Paradigm // *Icarus.*—2000.—148, N 1.—P. 52—64.
6. *Kozuka Yu., Konno I., Saito T., Numazara Sh.* The solar wind structure that caused a large-scale disturbance of the plasma tail of comet Austin // *Asteroids, Comets, Meteors.*—1991.—P. 329—332.
7. *Kubachek D., Pittich E. M., Zvolankova J., et al.* Aberration angles of comet Bradfield 1987 XXIX plasma tail // *Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso.*—1995.—25.—P. 83—89.
8. *Wegmann R.* The effect of some solar wind disturbances on the plasma tail of a comet: models and observations // *Astron. and Astrophys.*—2000.—358.—P. 759—775.

Поступила в редакцию 09.11.06