

ДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВА В ВЫБРОСАХ ИЗ ЯДРА КОМЕТЫ ЛЮЛИНЬ 22 ФЕВРАЛЯ 2009 г.

Комета Люлинь (C/2007 N3 Lulin) наблюдалась в УАФО в течение нескольких ночей вблизи ее максимального сближения с Землей, которое состоялось 23.02.2009 г. (здесь и ниже даты даны по UT). В частности, 22 февраля 2009 г. наблюдалась система выбросов из ядра кометы, которая состояла из нескольких струй и связанного с ними облака. Эта структура представляла собой довольно короткоживущее образование, поскольку отсутствовала 20-го февраля и практически исчезла 23-го. В выбросах имели место тангенциальные (т.е. ортогональные к лучу зрения) движения вещества со скоростями порядка 10 км/с, исследованию которых посвящена настоящая работа.

НАБЛЮДЕНИЯ И МЕТОД ОБРАБОТКИ

Наблюдения проводились на 25-см телескопе с фокусным расстоянием $F = 74$ см, без оптического фильтра. Изображение регистрировалось с помощью ПЗС камеры FLI, имеющей матрицу размером 3056×3056 пикс. Масштаб изображения – $3,34''/\text{пикс}$. Координаты кометы во время наблюдений: $\alpha = 11^{\text{h}}48^{\text{m}}$, $\delta = +1^{\circ}32'$, видимое движение ядра $12''/\text{мин}$. Комета находилась на гелиоцентрическом расстоянии $R_H = 1,382$ а.е., а ее геоцентрическое расстояние $R_G = 0,416$ а.е. [2] и изменялось очень незначительно, так как наблюдения проводились незадолго до максимального сближения кометы с Землей.

В настоящей работе использованы две серии кадров:

Серия 1: 10 кадров, экспозиция 40 с, время 14:55–15:06 UT

Серия 2: 5 кадров, экспозиция 80 с, время 15:11–15:19 UT

Один из полученных кадров представлен на рис.1, где видна интересующая нас система выбросов из головной части кометы (се-

веро-западный квадрант). Обработка материала включала следующие процедуры.

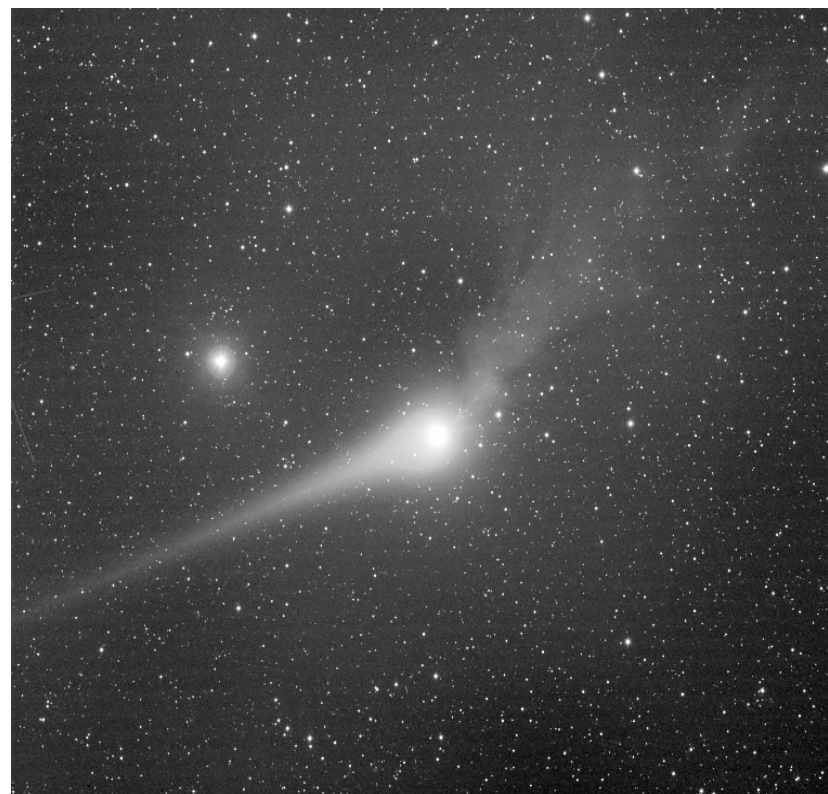


Рис.1 Комета Люлинь 22 февраля 2009 г., 15:02 UT. Север вверху, запад справа. Размер кадра $2,8^{\circ} \times 2,8^{\circ}$

1. Получение среднего изображения по каждой из серий, с компенсацией собственного движения ядра кометы. Поскольку при этом последовательные кадры сдвигались относительно друг друга на 4–6 пикс, изображение каждой из неподвижных звезд попадало в разные места, что дало возможность при усреднении исключить звезды поля (кроме самых ярких, давших большие радиусы засвет-

ки). Таким способом из двух серий кадров получены два изображения с временем накопления сигнала 400 с каждое, без звезд поля и со скомпенсированным собственным движением ядра кометы.

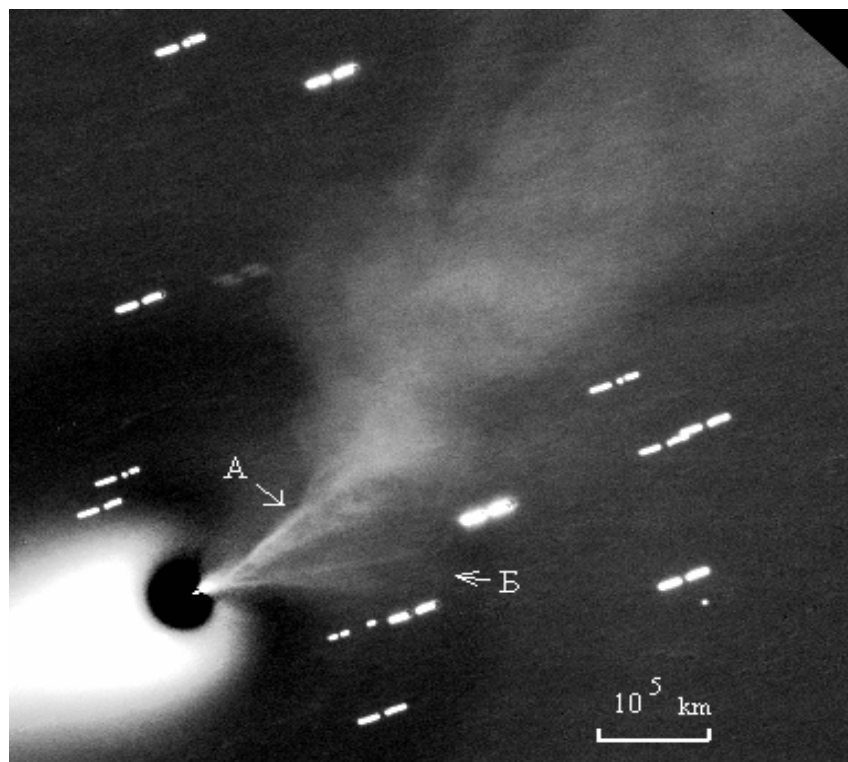


Рис.2. Усредненное по серии из 10 кадров изображение кометы Люлинь 22.02.2009 г., 14:55–15:06 UT. Показана часть изображения размером 43'×43' с системой выбросов, после удаления излучения комы. Обозначены две составляющие системы выбросов (А и Б)

2. Устранение излучения комы. Интересующие нас структуры (выбросы) расположены со стороны головы кометы, где изолинии яркости комы почти круговые. Поэтому излучение комы удалось исключить простым способом, включающим в себя определение радиальной (относительно ядра) зависимости яркости и вычита-

ние ее из изображений. Радиальная зависимость яркости определялась усреднением по углам в пределах того квадранта, где расположены выбросы. Одно из изображений после удаления излучения комы представлено на рис.2.

3. Определение перемещений деталей выбросов. Пусть (x, y) – прямоугольные координаты на изображениях, причем за начало отсчета принято положение ядра кометы; t_1 и t_2 – моменты времени, соответствующие двум имеющимся изображениям. Перемещение деталей, расположенных в момент t_1 вблизи некоторой точки (x_0, y_0) , определялось по положению минимума функции

$$L(\Delta x, \Delta y) = D_S[B(x, y, t_1) - B(x + \Delta x, y + \Delta y, t_2)],$$

где $B(x, y, t_i)$ – яркость в точке (x, y) в момент t_i , а $D_S[\dots]$ обозначает дисперсию, рассчитанную в пределах площадки размером S с центром в точке (x_0, y_0) . Размеры площадок усреднения S выбирались такими, чтобы минимум функции L был четко выраженным, а очерчивающие его изолинии имели сравнительно гладкую эллипсoidalную форму. Для ярких участков выбросов вблизи ядра кометы оказалось достаточным взять $S=30$ пикс ($\approx 100''$), однако по мере уменьшения яркости и увеличения расстояния от ядра размеры площадок пришлось постепенно увеличивать вплоть до $S = 120$ пикс ($\approx 400''$).

4. Расчет вектора тангенциальной скорости (V_x, V_y) делался очевидным образом по найденным перемещениям деталей $(\Delta x, \Delta y)$, при известных $t_2 - t_1 = 882$ с и геоцентрическом расстоянии $R_G = 0,416$ а.е.

Вероятные ошибки определения скорости можно оценить, исходя из реальных свойств функции L . Расчеты показали, что на небольших расстояниях от ядра (менее $500''$) эта функция имеет сравнительно узкий и четко очерченный минимум, положение которого определяется с точностью в несколько десятых долей пиксела. Отсюда точность определения скорости оценивается в $0,3\text{--}0,5$ км/с. С увеличением расстояния от ядра структура выбросов становится более диффузной, соответственно минимум L также становится бо-

лее широким, а точность определения его положения ухудшается. На наибольших исследованных нами расстояниях $\approx 2200''$ погрешность определения скорости возрастает до 1–2 км/с. Систематические погрешности из-за дисторсии и изменения R_G в ходе наблюдений много меньше случайных ошибок, поэтому они не учитывались.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Судя по структуре интересующей нас системы выбросов из ядра кометы (см. рис.2), ее можно разделить на два отдельных выброса, А и Б (обозначены на рисунке). Ближняя к ядру кометы часть выброса А состоит из двух струй, направленных практически радиально и имеющих длину $\approx 2 \times 10^5$ км в картинной плоскости. Между струями имеются поперечные искривленные детали, по-видимому указывающие на спиральную структуру этой части выброса. На больших расстояниях струйная часть выброса А переходит в облако несколько искривленной формы, протяженностью $\sim 10^6$ км. В облаке имеются локальные уплотнения типа «клубов дыма» и удлиненные дугообразные детали, вероятно отражающие спиральную структуру выброса. Выброс Б имеет меньшую яркость и протяженность и состоит из двух расходящихся струй длиной $\approx 2 \times 10^5$ км, со слабыми нерадиальными деталями вблизи них.

Сравнение изображений, полученных по двум сериям кадров, показало, что за 15 мин никаких существенных изменений в структуре выбросов не произошло (поэтому мы приводим на рис.2 только одно, первое из изображений). В то же время отдельные детали выбросов обнаруживают небольшие, но вполне заметные (до 30–40'') перемещения в картинной плоскости относительно ядра кометы. Для более точного определения этих перемещений и соответствующих им тангенциальных (т.е. ортогональных к лучу зрения) скоростей был применен метод, описанный в предыдущем разделе.

Карта поля скоростей в выбросах показана на рис.3. Можно видеть, что тангенциальная скорость перемещения вещества – порядка 10 км/с (фактически среднее по модулю значение получилось равным 9,4 км/с), хотя в разных частях выбросов имеются значительные различия скоростей по величине и направлению. Различия

эти не являются чисто случайными и показывают коррелированное в пространстве поведение. Это лучше видно при разложении вектора скорости на составляющие – радиальную (относительно ядра кометы), V_R , и ортогональную к ней азимутальную компоненту, V_ϕ . На рис.4 показаны карты этих составляющих скорости, а на рис.5 представлены V_R и V_ϕ в как функции расстояния от ядра кометы R (только для выброса А).

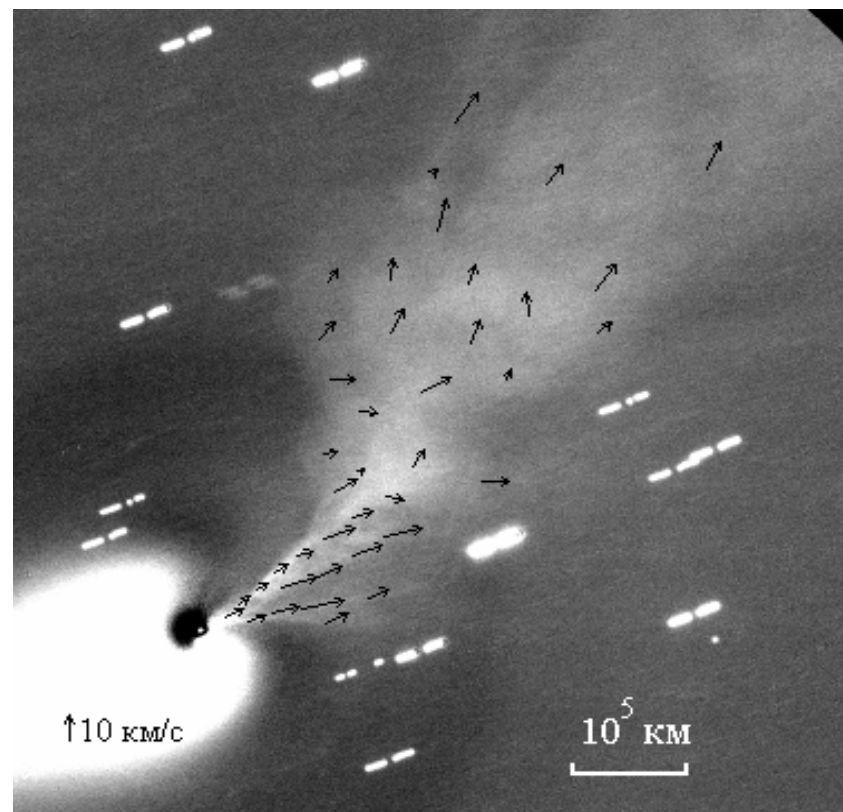


Рис.3. Поле тангенциальных скоростей в системе выбросов из кометы Люлинь 22.02.2009 г. (масштаб для вектора скорости показан в левой нижней части рисунка)

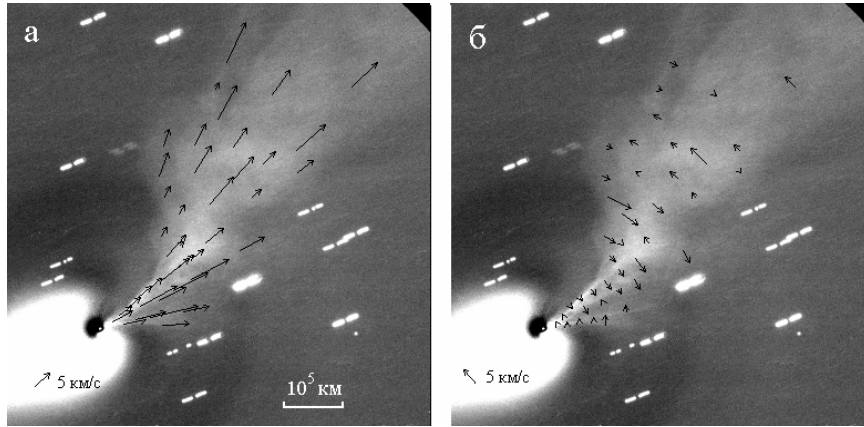


Рис.4. Радиальная (а) и азимутальная (б) компоненты поля скоростей, показанного на рис.3

На рис.4 можно видеть, что радиальная скорость, как и следовало ожидать, всюду положительна (направлена от ядра); среднее значение ее 8,6 км/с. Азимутальная компонента скорости меньше радиальной (ее среднее по модулю значение 2,6 км/с), и имеет разное направление в разных частях системы выбросов. В выбросе Б она направлена против часовой стрелки. В струйной части выброса А, наоборот, V_ϕ преимущественно имеет направление по часовой стрелке. Таким образом, струйные части выбросов А и Б в целом поворачиваются в картинной плоскости, причем в противоположные стороны. В той части облака, которая примыкает к струйной части выброса А, азимутальная скорость также направлена преимущественно по часовой стрелке, однако по мере удаления от ядра направление ее изменяется, причем неоднократно.

В целом азимутальная скорость в выбросе А показывает довольно определенную функциональную зависимость, причем знакопеременную, от расстояния от ядра R . Как можно видеть на рис.5б, в струйной части выброса (до $R \approx 2 \times 10^5$ км) V_ϕ растет примерно пропорционально R , что соответствует приблизительно постоянной угловой скорости $\approx 1,5 \times 10^{-5}$ рад/с и указывает на вращение структуры как целого. Две «аномальные» точки около $R = 2,3 \times 10^5$ км соответ-

вуют переходу от струйной части выброса А к облаку. В облаке направление азимутальной скорости при возрастании R изменяется, причем дважды – на расстояниях около $3,5 \times 10^5$ км и 5×10^5 км. Такое поведение V_ϕ , скорее всего, указывает на присутствие в облаке спирального течения с амплитудой скорости 3–5 км/с (что косвенно подтверждается и морфологическими особенностями выброса А). Возможно также, что это проявление крупномасштабного волнового движения, которое иногда наблюдается в хвостах комет [1].

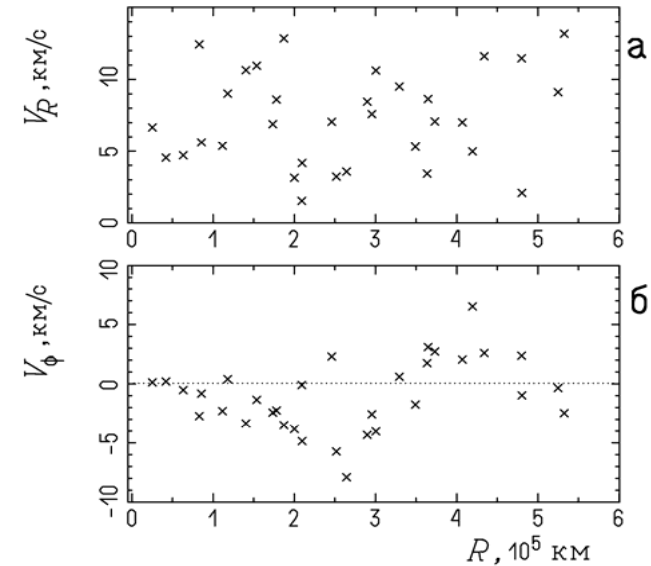


Рис.5. Радиальная (а) и азимутальная (б) компоненты скорости в выбросе А, в зависимости от расстояния от ядра кометы

Радиальная составляющая скорости в выбросе А не показывает отчетливо выраженной функциональной зависимости от R , демонстрируя на всех расстояниях значительный разброс значений (рис.5,а). Этот разброс не объясняется только случайными ошибками определения скорости, следовательно он отражает различия скоростей в областях выброса, расположенных на одинаковых расстояниях от ядра. Можно, однако, выделить интервалы расстояний, где

радиальная скорость преимущественно выше или ниже средней. Так, сравнительно низкие скорости расширения имели место в ближайшей к ядру части струйной системы выброса ($R < 10^5$ км), а также в области перехода от струйной части к облаку, $R \approx (2,0-2,6) \times 10^5$ км.

ВЫВОДЫ

22.02.2009 г. наблюдалась система выбросов из ядра кометы Люлинь, которую морфологически можно разделить на две части, А и Б. Выброс А состоял из системы струй длиной $\approx 2 \times 10^5$ км и ее продолжения в виде клубящегося облака размером $\sim 10^6$ км; обе эти составляющие имели признаки спиральной структуры. Выброс Б состоял только из системы струй размером $\approx 2 \times 10^5$ км.

Средняя тангенциальная скорость движения вещества в выбросах имела величину 9,4 км/с. В целом по поведению поля тангенциальных скоростей можно заключить, что движение вещества выбросов имело четыре компонента:

- 1) радиальное расширение со средней скоростью 8,6 км/с;
- 2) поворот струйных систем каждого из выбросов в картинной плоскости, причем выброс А поворачивался по часовой стрелке, а выброс Б – против; скорость поворота $\approx 1,5 \times 10^{-5}$ рад/с
- 3) нерадиальное (возможно, спиральное) течение во внешней части выброса А, неоднократно изменяющее направление по мере удаления от ядра, с амплитудой скорости 3–5 км/с;
- 4) некоррелированные в пространстве перемещения отдельных деталей со скоростями в несколько км/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский О.В. Кометы. М. Наука. 1966. 288 с.
2. <http://www.cfa.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html>

В.М. Ефименко¹, В.В. Токий²

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ИНДУЦИРУЕМЫЕ ЛУНОЙ В ИОНОСФЕРНЫХ СЛОЯХ ЗЕМЛИ

Выражения для нестационарного распределения электронов, протонов, их скорости, электрического поля и электрического заряда в потоке плазмы в зависимости от расстояния до источника были получены ранее для сферически симметричных потоков [1, 2].

Решение задачи о нестационарных распределениях в зависимости от широты и долготы точки наблюдения электронов, протонов, их скоростей, электрических токов, электрических полей в изотермических слоях водородной плазмы, обусловленных горизонтальным нестационарным возмущением потенциальных сил без учета вязкости, было рассмотрено в работе [3].

Цель работы состояла в том, чтобы описать влияние гравитационного возмущения Луны на изменения параметров плазменных слоев ионосферы Земли при действии горизонтальных приливных сил, нарушающих сферическую симметричность и стационарность ионосферной плазмы.

1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Настоящая работа основана на простейших предположениях. Будем рассматривать тонкий сферический изотермический слой бесстолкновительной плазмы толщиной h на расстоянии r от центра Земли ($h \ll r$), с концентрацией ионов N_0 и концентрацией электро-

¹ Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Украина, г. Киев, ул. Обсерваторная, 3, e-mail: efim@observ.univ.kiev.ua

² Донецкий физико-технический институт НАН Украины имени А.А.Галкина, Украина, г. Донецк, ул. Р. Люксембург, 72, e-mail: nvt1976@mail.ru