



ISSN 1607–2855

Том 8 • № 1 • 2012 С. 80 – 86

УДК 523.64–864

Утворення смугових структур у пилових хвостах комет

С.В. Харчук, П.П. Корсун

Головна астрономічна обсерваторія НАН України

Запропонований механізм утворення смугових структур у пилових хвостах комет. На поверхнях ядер комет знаходяться локальні активні області й формування смуг зумовлене різним темпом виділення речовини з активних областей у залежності від того, знаходяться вони на освітленому чи на затіненому боці ядра комети, що обертається. Модельний аналіз формування пилових хвостів комет C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki-Lines), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1975 V1 (West) показав, що за допомогою запропонованого механізму можна пояснити причини утворення смуг.

ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОСОВЫХ СТРУКТУР В ПЫЛЕВЫХ ХВОСТАХ КОМЕТ, Харчук С.В., Корсун П.П. — Предложен механизм образования полосовых структур в пылевых хвостах комет. На поверхностях ядер комет находятся локальные активные области и формирование полос обусловлено разным темпом выделения вещества из активных областей в зависимости от того, располагаются они на освещенной или на затененной стороне вращающегося ядра кометы. Модельный анализ формирования пылевых хвостов комет C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki-Lines), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1975 V1 (West) показал, что с помощью предложенного механизма можно объяснить причины образования полос.

THE FORMATION OF STRIATED STRUCTURES IN DUST TAILS OF COMETS, by Kharchuk S.V., Korsun P.P. — The mechanism of formation of striae structures in the dust tails of comets is proposed. There are local active areas on the surfaces of comet nucleus. The formation of striae is indebted to the different rate of dust ejection from active areas depending on that they are located on the sunlit or shaded side of the rotating nucleus. The model analysis of dust tails forming of comets C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki-lines), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1975 V1 (West) showed that the proposed mechanism can explain the formation of striae.

Ключевые слова: кометная пыль; активность ядер комет.

Key words: comet dust; comet nuclei activity.

1. ВСТУП

Смугоподібні деталі в пилових хвостах комет — безперечно дуже цікаве, рідкісне і маловивчене явище в кометній астрономії. За всю історію спостережень це явище було зафіксоване лише для кількох комет: C/1743 X1 (Cheseaux), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki-Lines), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught) і, можливо, V/1858 (Donati). Ця робота висвітлює нашу інтерпретацію утворення смугових структур для чотирьох комет з наведеного списку, використовуючи спільний підхід. Утворення смугових структур комет Шезо і Донаті не були промодельовані через нефотографічний характер зображень та часове обмеження програмних кодів.

Таке явище, як смугові і на вигляд періодичні деталі в хвостах комет, звичайно ж цікавило і звичайних сучасників цих явищ і вчених. Професор Покровський [13] вивчив явище смуг в хвості комети C/1910 A1 і прийшов до думки, що хвіст цієї комети складений з ряду синхрон, які утворилися завдяки сильним виверженням з ядра. Незвичайні деталі цієї ж комети привернули увагу Секаніні і Фарела, які в повідомленні [18] пишуть, що смуги складаються з фрагментів, утворених з материнських частинок, які були викинуті з ядра комети під час дискретних епізодів викидів. Кучмі та ін. [7] відзначили, що дуже велике виробництво пилу в кометі 1975 V1 (West) спостерігалось з появою великої кількості смуг, які однозначно спостерігалися з березня 3.2 до березня 7.5. Система смуг показувала квазірегулярний характер, а відносний максимум спектра потужності відповідає довжині хвилі близько 10^6 км і припускає зв'язок з сонячною активністю або міжпланетним середовищем. Ламі та Кучмі [9] показали, що синхронно-синдинний аналіз не підходить для опису смуг в хвості комети C/1975 V1 (West). За їх сценарієм велика кількість пилу виділяється під час проходження перигелію і незабаром після нього і надалі організується в смуги. Ці смуги поширюються в космічному просторі, зберігаючи свою форму кілька днів. Автори схиляються до думки, слідує за Всехсвятським [1], що такий плазмовидий аспект поведінки смуг передбачає невідому взаємодію, що відрізняється від тяжіння й тиску випромінювання, а зобов'язана впливу міжпланетного магнітного поля. Секаніні і Фарел [17] повторили свій попередній висновок щодо утворення смуг на прикладі комети 1975 V1 (West). Вони також додали, що оскільки β (відношення сили тиску випромінювання до гравітації) батьківських частинок лише незначно нижче, ніж в середньому для фрагментів, тобто відношення площі до маси батьків і фрагментів майже однакове,

це, звичайно, вказує на те, що батьківські частинки сильно несферичні. Автори вважають ланцюгоподібні частки найбільш привабливими кандидатами, оскільки такі лінійні агрегати є звичайним явищем в експериментах по конденсації частинок в лабораторії при різних умовах. Акабане [3] за допомогою ідеї про вторинний хвіст також відтворив смуги комети C/1975 V1 (West). Секаніна та ін. [17] вказали, що підхід Акабане аналогічний їхньому підходу.

Що стосується моделей, то відомі дві основні моделі для пояснення явища утворення смуг: модель Нотні [11] і модель Секаніни й Фарела [17]. Нотні припустив, що кометний пил має значне зчеплення з кометною плазмою. Завдяки цьому теплова швидкість пилових частинок може досягати значень в десять і навіть більше кілометрів за секунду біля ядра комети при викиді уздовж радіус-вектора Сонце–комета. Дана модель була застосована до комети C/1957 P1 (Mrkos), але не виправдала себе при застосуванні до комети C/1975 V1 (West) [12]. Секаніна і Фарел пояснили утворення смуг в кометі C/1975 V1 (West) наступним чином. Батьківські частки одночасно викидаються під час вибухів на поверхні ядра комети. Далі частинки піддаються однаковому прискоренню, значення якого трохи вище, ніж очікувалося б при винятковій дії тиску сонячного випромінювання. У той же час дисперсія швидкостей повинна бути маленькою. Пізніше всі батьківські частки фрагментують в один і той же час на відстанях аж до декількох мільйонів кілометрів. Пізніше ця модель була застосована до комет C/1957 P1 (Mrkos) [19], C/1962 C1 (Seki-Lines) [10] та C/1910 A1 (Great January Comet) [18]. Необхідність раптового одночасного розпаду батьківських частинок є головним вразливим місцем даної моделі. Крім того, модель Секаніни–Фарела передбачає єдине значення β для батьківських частинок. У свою чергу, ми пропонуємо альтернативну модель, яка пояснює утворення смуг в кометах.

2. МОДЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ СМУГОВИХ СТРУКТУР В ПИЛОВИХ ХВОСТАХ КОМЕТ

Ми зробили припущення, що утворення смугових деталей в пиловому хвості комети відбувається завдяки існуванню локальних активних областей на поверхні ядра. Такі області існують протягом тривалого проміжку часу, рівному кільком періодам осьового обертання комети. Завдяки осьовому обертанню, активні області знаходяться по черзі то на освітленій Сонцем, то на нічній півкулі комети. Рівень продукування пилу і газу при цьому різний, завдяки чому утворюються згущення пилу, що спостерігаються у вигляді смуг.

Була зроблена перевірка зазначеного припущення за допомогою динамічного статистичного моделювання. Орієнтація смугових деталей займає деякий проміжний напрям між напрямом синхрон і напрямом на Сонце. Модельно можна відтворити таку орієнтацію смуг, але тільки за допомогою введення додаткової сили, яка діє поряд з гравітацією і силою тиску сонячного випромінювання і має спрямованість дії, протилежну до напрямку на Сонце. Взаємодія заряджених пилових частинок з локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля є вірогідною інтерпретацією додаткової сили (це питання розглянуте в розділі “Обговорення результатів моделювання”).

Проблему орієнтації смуг розглянемо на прикладі комети C/1957 P1 (Mrkos) (рис. 1). Невідповідність просторової орієнтації смуг інших комет аналогічне. Смуги в кометі C/1957 P1 (Mrkos) малоконтрастні, тому надалі вони будуть представлені схематичними лініями.

Для модельного відтворення пилових хвостів комет була взята за основу модель, розроблена Корсуну [6], яка спочатку використовувалася для вивчення віддалених комет. Пізніше модель була дещо змінена і застосована для моделювання комети C/1995 O1 (Hale-Bopp) [2] на близьких відстанях від Сонця. Для модельної побудови пилового хвоста комети простежується траєкторія кожної окремої частинки з моменту її вильоту із зони зіткнень до моменту спостереження. Для цього за алгоритмом Монте-Карло задається момент і напрямком вильоту частинки, а також її радіус і швидкість вильоту. Далі, для кожної частинки вирішується система рівнянь руху під впливом двох основоположних сил, сонячної гравітації і тиску сонячного випромінювання, а також різних неінерційних ефектів. Результатом розв'язання системи рівнянь і врахування додаткової сили є координати однієї частинки на момент спостереження, а їх сукупність дає модельний пиловий хвіст комети. Нарешті, отримані кометоцентричні координати частинок проєктуються на картинну площину для порівняння зі спостереженнями.

3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Комета C/1910 A1. Зображення комети C/1910 A1, яке ми використали для зіставлення з модельним зображенням, було отримане в 27 січня 1910 року в Ташкенті І.І.Сікорю [13]. На зображенні чітко видно шість смуг (рис. 2). Модельні експерименти показали, що утворення всіх смуг крім останньої (справа наліво) можна пояснити завдяки активності однієї локальної області. Крайня зліва смуга може бути результатом спорадичного викиду речовини. Найоптимальніші значення модельних параметрів наступні. Діапазон радіусів частинок: 0.2–0.6 мікрон, швидкості частинок: 300–590 м/с (в залежності від розмірів пилинок), максимальний вік частинок, з яких були утворені всі лінії хвоста: 9.37 доби, максимальний вік частинок з яких утворилися згадані 5 ліній 9.22 діб, додаткове прискорення $0.34/a^2$ см/с² (a

— радіус частинок в мікронах), період обертання ядра навколо своєї осі: 8.5 годин. Модельне зображення було утворене з 10 млн. частинок. Зіставлення модельного і спостережного зображень представлено на рис. 2.

Комета C/1957 P1. Зображення комети C/1957 P1 (Mrkos) отримане 14 серпня 1957 року. На зображенні ми виділили 7 смуг, одна з яких роздвоєна (рис. 3). Модельні експерименти показали, що всі смуги утворилися завдяки одній локальній активній області. Смогоутворення почалося практично під час проходження кометою точки перигелію. Час проходження перигелію — 01.4373 серпня 1957 року, час викиду частинок відповідальних за утворення найбільш ранньої смуги — 31.1 липня 1957 року. Частинки, які сформували смуги мали радіуси 1.45–1.8 мікрон, їх швидкості: 300–400 м/с, максимальний вік частинок, з яких були утворені смуги: 15.5 доби, дата початку моделювання: липень 20.5. Додаткове прискорення: $0.20/a^2$ см/с², період обертання ядра навколо осі: 15.4 години. Для пояснення безструктурної складової пилового хвоста ми розглядали витік речовини з усієї поверхні ядра. Діапазон радіусів частинок використаних в моделюванні цієї складової хвоста: 1.5–20 мікрон, швидкості частинок: 90–400 м/с, максимальний вік частинок, з яких був утворений хвіст: 35.6 доби. Модельне зображення було утворене з 100 млн. частинок. Секаніна і Фарел [19] також провели дослідження смуг у хвості комети C/1957 P1 (Mrkos) за допомогою своєї фрагментаційної моделі. За частотою виділення батьківських частинок з ядра вони отримали значення для періоду осьового обертання 19.7 годин. Зіставлення модельного і спостережного зображень представлено на рис. 3.

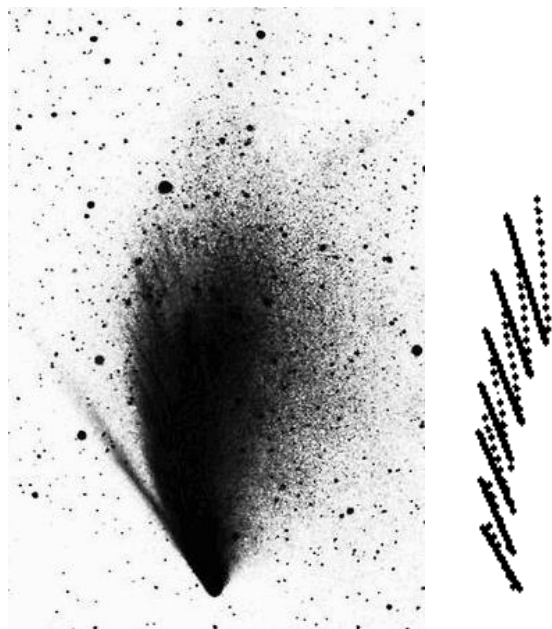


Рис. 1. Зліва оригінальне зображення комети C/1957 P1 (Mrkos). Праворуч схематично показані розбіжності в моделюванні з застосуванням додаткової сили (безперервні лінії) і без застосування додаткової сили (точкові лінії) на прикладі комети C/1957 P1 (Mrkos)

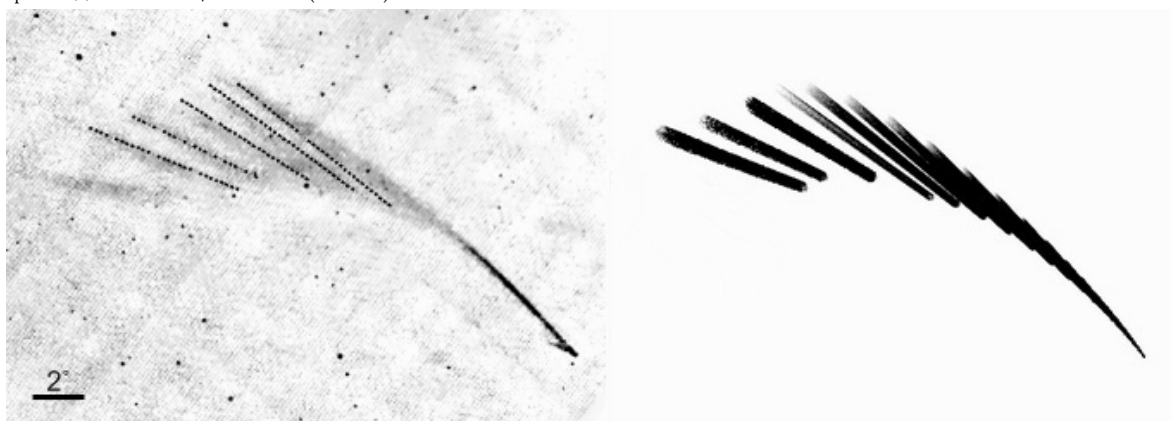


Рис. 2. Спостережене (ліворуч) і змодельоване (праворуч) зображення комети C/1910 A1. На спостережному зображенні також схематично нанесені крапками змодельовані смуги. Масштаб зазначений. Північ вгорі, схід зліва.

Комета C/1962 C1. Зображення комети C/1962 C1 (Seki-Lines) отримане 9 квітня 1962 року [22]. На зображенні виразно видно тільки дві смуги (рис. 4). Тому неможливо сказати напевно, чи утворилися вони завдяки одній активній області, чи завдяки двом окремим викидами речовини. Ми виконали модельні експерименти для цієї комети, припустивши, що спостережні смуги завдячують наявності однієї активної області на ядрі комети. Діапазон радіусів частинок, що використовуються в моделюванні безструктурної складової: 0.3 – 10.4 мікрон (для смуг 0.32 – 0.4), швидкості частинок: 100 – 880 м/с (для смуг 750 – 850), максимальний вік частинок, з яких був утворений хвіст: 7.11 доби, дата початку моделювання: квітень 02.25, додаткове прискорення $1.20/a^2$ см/с², період обертання ядра навколо своєї осі за умови дії однієї локальної активної області: 3.42 години. Модельне зображення було утворено з 10 млн. частинок. Зіставлення модельного і спостережного зображень представлено на рис. 4.

Комета C/1975 V1. Зображення комети C/1975 V1 (West) отримане 4 березня 1975 року [23]. Комета C/1975 V1 (West), окрім явища смугастості хвоста, була особливою в зв'язку з розпадом ядра комети на чотири частини. За розрахунками Секаніні [16] фрагмент D відокремився від основного ядра

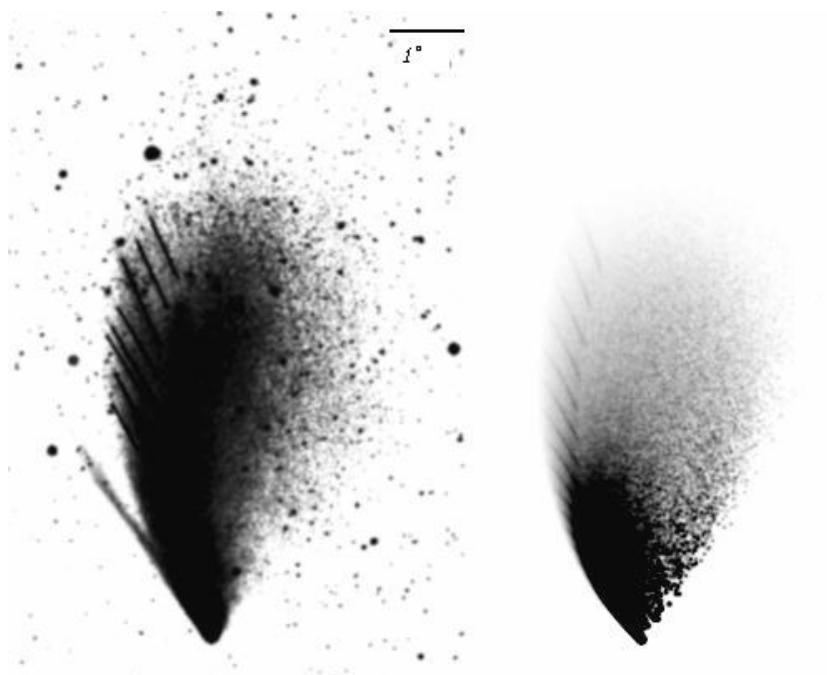


Рис. 3. Спостережене (ліворуч) і змодельоване (праворуч) зображення комети C/1957 P1 (Mrkos). Масштаб зображення зазначений. Північ вгорі, схід зліва.

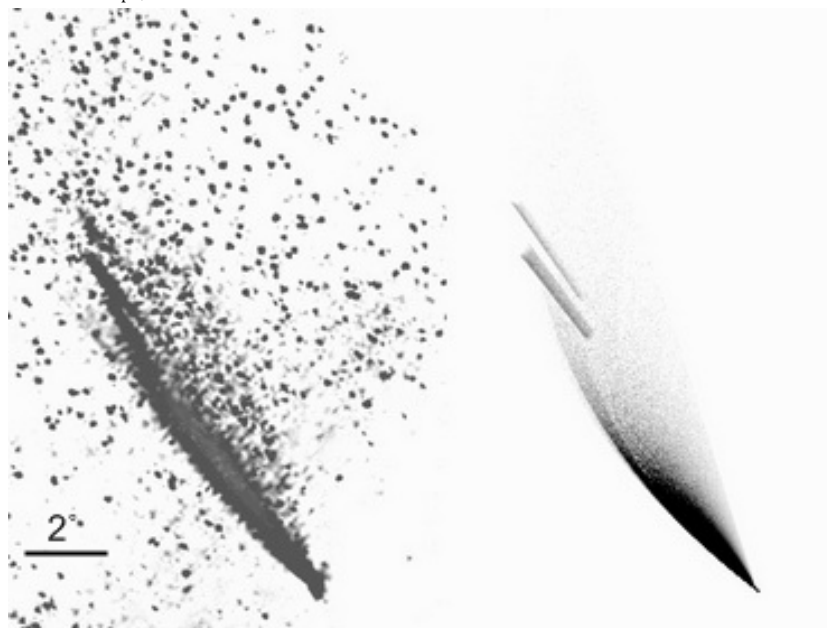


Рис. 4. Спостережене (ліворуч) і змодельоване (праворуч) зображення комети C/1962 C1 (Seki-Lines). Масштаб зображення зазначений. Північ вгорі, схід зліва.

19.02.1976, фрагмент В відокремився 27.02.1976, фрагмент С відокремився 06.03.1976. На зображенні (рис. 5) можна виділити близько 9 смуг. Всі вони модельно відтворені. Були використані такі модельні параметри. Діапазон радіусів частинок, що використовуються в моделюванні: 0.2 – 10.845 мікрон, швидкості частинок: 50 – 500 м/с, максимальний вік частинок, з яких був утворений хвіст: 7.46 доби, дата початку моделювання: лютий 25.75, додаткове прискорення $0.34/a^2$ см/с², період обертання ядра навколо осі: 7.35 години. Модельне зображення було утворено з 10 млн. частинок. Представлену тут модельну картину можна отримати за допомогою моделювання ядра з однією активною областю. Система смуг у хвості комети була відтворена успішно, разом з тим, морфологію безструктурної складової пилового хвоста ми не змогли вдало відтворити. Можливо, це пов'язано з тим, що ядро комети C/1975 V1 (West) в період утворення смуг стало розпадатися на фрагменти. Зіставлення модельного і спостережного зображень представлено на рис. 5.

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ

У своїх модельних дослідженнях ми намагалися спочатку розглядати простіший варіант, а саме утворення смуг в результаті дії однієї активної області на поверхні ядра. Якщо ж моделювання з вищевказаним припущенням не давало задовільних результатів, припускалася дія кількох активних областей, як у випадку комети C/2006 P1, або дії однієї активної області поряд з дією спорадичного викиду речовини, як у випадку комети C/1910 A1. Оскільки розміщення активних областей та орієнтація осі обертання комети мало впливає на просторову орієнтацію смуг, при моделюванні всіх комет ми приймали, що активна область розміщена на екваторі ядра комети, а вісь обертання перпендикулярна до площини орбіти комети. Застосована модель дає можливість вибирати співвідношення виробництва речовини активною областю на денній і нічній стороні, а також розкрив конуса витікання речовини з неї – обидва ці параметра впливають лише на видиму чіткість смуг. Представлені тут результати отримані при наступних значеннях розкриття конуса активної області, C/1975 V: 50; C/1910 A1, C/1957 P1: 100; C/1962 C1: 10 градусів, тобто активні області можуть бути кратерами або плямами. Використано наступні значення показника ступеня експоненціального закону розподілу пилинок за розмірами, C/1975 V1 –2.5, C/1910 A1, C/1957 P1, C/1962 C1: –3. Згідно з Йокерсом [4] значення зазначеного параметра знаходиться в межах –3...–4, а найбільш використовуване в дослідженнях комет значення показника ступеня становить –3.5. Значення показника ступеня для комети C/1975 V1 становить –2.5, що може відображати той факт, що до початку моделювання пилової складової цієї комети від її ядра відділився

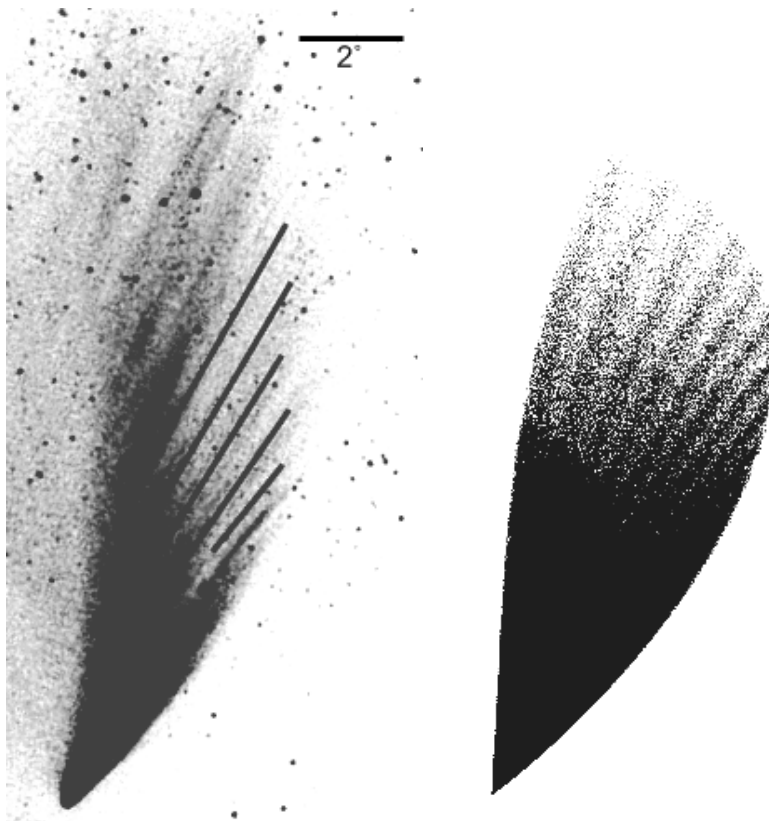


Рис. 5. На малюнку праворуч модельно сконструйований смугастий хвіст комети C/1975 V1 (West). Ліворуч оригінальне зображення комети, слабкі смуги зображені схематично для наочності. Масштаб зображення зазначений. Північ вгорі, схід зліва.

Таблиця 1. Параметри модельованих комет

	C/1910 A1	C/1957 P1	C/1962 C1	C/1975 V1	C/2006 P1
t	1910 01 27.067	1957 08 14.6	1962 04 09.3	1976 03 04.208346	2007 01 24.00766
incl	138.7812	93.9411	65.0142	43.0664	77.83699
hEcl-Lat	38.8	72.3	19	42.46	-73.8
r	0.4	0.51	0.4	0.35	0.4424
T_p	1910 01 17.5881	1957 08 01.4373	1962 04 01.663	1976 02 25.22	2007 01 12.799
S_c	Між максимумом і мінімумом	Перед максимумом	Між максимумом і мінімумом	Під час мінімуму	Під час мінімуму

Позначення: t — момент отримання зображення; incl — нахил орбіти до площини екліптики (градуси); hEcl-Lat — геометрична геліоцентрична екліптична широта комети (градуси); r — відстань від Сонця на момент отримання зображення (а.о.); T_p — час проходження перигелію; S_c — момент спостереження щодо 11-річного сонячного циклу.

фрагмент, що збільшило частку великих частинок.

У статті [15] наведені значення періодів обертання навколо своєї осі ряду комет. Періоди обертання знаходяться в діапазоні від кількох годин (найменший у комети 133P/Elst-Pizarro, 3.471 години) до кількох діб. Визначені нами періоди обертання знаходяться у зазначеному діапазоні.

В табл. 1 наведено орбітальні та інші параметри розглянутих тут чотирьох комет і комети C/2006 P1 (McNaught), результати моделювання якої представлені в попередній нашій статті [5]. З табл. 1 видно, що видимої кореляції між явищем утворення смугастих структур в хвостах комет і нахилом орбіт комет до площини екліптики або екліптичною широтою або фазою 11-річного циклу сонячної активності немає. Єдиною спільною рисою зазначених в таблиці комет є відносно невеликий по значенню й досить вузький діапазон відстаней від Сонця на момент спостереження (0.35–0.51 а.о.).

Можливим варіантом фізичної інтерпретації додаткової сили, введеної в процес моделювання, є взаємодія заряджених частинок з локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля. Процес електростатичного заряджання кометних пилових частинок розглянутий у наукових статтях. Зокрема Секаніна [20] пише, що значення потенціалів зазвичай складають лише кілька вольт на потрібних нам відстанях, а саме, більше $2 \cdot 10^5$ від ядра комети.

Нами були підраховані значення потенціалів, які потрібні були б для виникнення додаткових прискорень, які були використані при моделюванні кометних атмосфер. Була використана формула, наведена Секаніною:

$$\gamma = 0.447 \Phi k B_{\text{rad}} / \rho a^2,$$

де γ — відношення прискорення, викликаного силою Лоренца до прискорення, викликаного сонячним тяжінням; Φ — потенціал; k — коефіцієнт, який при виконанні умови, що вектор сонячного вітру набагато більший за вектор швидкості частинки відносно Сонця (що є майже завжди), дорівнює $k \approx \Omega r \cos b$, де $\Omega = 2.87 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ [21] — кутова швидкість сонячного обертання; r — відстань комети від Сонця в кілометрах; b — геліографічна широта; B_{rad} — радіальна компонента магнітного поля на геліоцентричній відстані в 1 а.е. в гаусах (для розрахунків прийнято значення $2.5 \cdot 10^{-5}$); ρ — густина частинки в г/см^3 (для розрахунків прийнято значення 2 г/см^3); a — радіус частинки в мікронах.

Отримано наступні значення потенціалів за умов незбуреного міжпланетного середовища. Комета C/1910 A1 — 122.35 В, C/1957 P1 — 235.3658 В, C/1962 C1 — 355.74187 В, C/1975 V1 — 80.746974 В, що значно перевищує очікувані значення. Таким чином, умови незбуреного міжпланетного середовища не в змозі забезпечити фізичне пояснення додатковій силі, використаній у моделюванні, але ми можемо припустити взаємодію пилових кометних частинок із локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля, такими як корональні викиди мас з Сонця, сила магнітних полів в яких може сягати порядку 1 мілігауса [14]. Зустрічі комет із локальними збуреннями міжпланетного середовища є відомим, спостережуваним явищем. Для прикладу можна привести події зіткнення комет C/2010 X1 (Elenin) [24], 2P/Encke [8] із неоднорідностями в міжпланетному середовищі.

5. ВИСНОВОК

Для пояснення явища смугоподібних структур в хвості був запропонований механізм активності локальних областей, розміщених на поверхні ядра, яке обертається. Модельно були відтворені пилові атмосфери і смугоподібні деталі хвостів комет: C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki-Lines), C/1975 V1 (West). В ході моделювання були отримані наступні фізичні характеристики: діапазон радіусів частинок, діапазон їх швидкостей, максимальний вік частинок, які утворюють хвіст, період обертання ядра навколо осі, величина додаткового прискорення. Щоб орієнтація змодельованих смуг збігалася з орієнтацією спостережених смуг необхідна дія додаткової сили. Природою цієї сили може бути взаємодія заряджених пилинок з локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля.

1. *Всехсвятский С.К.* О природе синхронных образований в хвостах комет // *Астрономический журнал.* — 1959. — **36**, №3. — С. 503–511.
2. *Харчук С., Корсун П., Микуш Г.* Модельный анализ пылевого хвоста кометы Хейла-Боппа // *Кинематика и физика небесных тел.* — 2009. — **25**, №5. — С. 268–276.
3. *Akabane T.* The secondary tail of Comet 1976 VI West // *Astronomical Society of Japan.* 1983. — **35**, №4. — P. 565–578.
4. *Jockers K.* Observations Of Scattered Light From Cometary Dust And Their Interpretation // *Earth, Moon, and Planets.* — 1997. — **79**, Issue 1/3. — P. 221–245.
5. *Kharchuk S.V., Korsun P.P.* Striated features in the dust tail of comet C/2006 P1 (McNaught) // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* — 2010. — **266**. — P. 322–325.
6. *Korsun P.P., Kulyk I.V., Ivanova O.V., Afanasiev V.L., Kugel F., Rinner C., Ivashchenko Y.M.* Dust tail of the active distant Comet C/2003 WT42 (LINEAR) studied with photometric and spectroscopic observations // *Icarus.* — 2010. — **210**, №2 — P. 916–929.
7. *Koutchmy S., Coupiac P., Elmore D., Lamy P., Sevre F.* Comet West 1975n. I - Observations near and after perihelion passage // *Astronomy and Astrophysics.* — 1979. — **72**, №1–2. — P. 45–49.
8. *Kuchar T.A., Buffington A., Arge C.N., et al.* Observations of a comet tail disruption induced by the passage of a CME // *Journal of Geophysical Research* — 2008. — **113**. — P. 1–11.
9. *Lamy P.L., Koutchmy S.* Comet West 1975n. II — Study of the striated tail // *As. Ap.* — 1979. — **72**, №1–2. — P. 50–54.
10. *Nishioka K., Watanabe J.-I.* Finite lifetime fragment model for synchronic band formation in dust tails of comets // *Icarus* — 1990. — **87**. — P. 403–411.
11. *Notni P.* Veroff. *Sternw. Habelsberg.* — 1964. — **15**, №1. — P. 1–51.
12. *Notni P., Thaenert W.* The striae in the dust tails of great comets - A comparison to various theories // *Astronomische Nachrichten.* — 1988. — **309**, №2. — P. 133–146.
13. *Pokrowski K.* Synchronen im Schweife des Kometen 1910a //— 1911.
14. *Poomvises W., Gopalswamy N., Yashiro S.* Determination of the heliospheric radial magnetic field from the Standoff Distance of a CME-driven shock Observed by the STEREO spacecraft // *American Geophysical Union, Fall Meeting* — 2011. — **736**, №1.
15. *Samarasinha N.H., Mueller B.E.A., Belton M.J.S., Jorda L.* Rotation of cometary nuclei // *Comets II* / Eds. M.C.Festou, H.U.Keller, and H.A.Weaver. — 2004. — P. 281–299.
16. *Sekanina Z.* The problem of split comets in review // *Comets* / Eds. L.L.Wilkening. — 1982. — P. 251–287.
17. *Sekanina Z., Farrell J.A.* The striated dust tail of Comet West 1976 VI as a particle fragmentation phenomenon // *Astronomical Journal* — 1980. — **85**. — P. 1538–1554.
18. *Sekanina Z., Farrell J.A.* The Striated Dust Tail of Comet 1910 I // *Bulletin of the American Astronomical Society* — 1986. — **18**. — P. 818.
19. *Sekanina Z., Farrell J.A.* Two dust populations of particle fragments in the striated tail of Comet Mrkos 1957 V // *Astrophys. J.* — 1982. — **87**, №12. — P. 1836–1853.
20. *Sekanina Z., Hanner M.S., Jessberger E.K., Fomenkova M.* Cometary dust // *Interplanetary Dust* / Eds. E.Gruen, B.A.S.Gustafson, S.F.Dermott, H.Fechtig — 2001. — P. 95–161.
21. *Stix M.* *The Sun: an introduction* — 2004. — P.280.
22. <http://komety.sweb.cz/komety/kometytiscilet.html>
23. <http://www.perihelio.org/brill2007.htm#C1975V1>
24. <http://spaceobs.org/en/2011/08/24/interaction-between-comet-elenin-and-coronal-mass-ejection-from-the-sun>

Надійшла до редакції 24.07.2012