

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

Харчук Сергій Валерійович

УДК 523.64-864

**ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИЛУ
ВИБРАНИХ ДОВГОПЕРІОДИЧНИХ КОМЕТ
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

01.03.03 – Геліофізика і фізика Сонячної системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Головній астрономічній обсерваторії
Національної академії наук України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Корсун Павло Павлович,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України,
завідувач лабораторії фізики комет.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Бельська Ірина Миколаївна,
Науково-дослідний інститут астрономії
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна МОН України,
провідний науковий співробітник
відділу фізики астероїдів та комет;

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Клещенок Валерій Володимирович,
Астрономічна обсерваторія Київського національного
університету імені Тараса Шевченка, завідувач сектору
астрометрії та малих тіл Сонячної системи.

Захист відбудеться 1 квітня 2016 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 26.208.01 при Головній астрономічній обсерваторії НАН України за адресою:
ГАО НАН України, вул. Академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03860 МСП.
Початок засідань о 10 годині.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ГАО НАН України за адресою:
ГАО НАН України, вул. Академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03860 МСП.

Автореферат розіслано « 24 » лютого 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат фізико-математичних наук

І.Е. Васильєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комети сформувалися на ранніх етапах утворення Сонячної системи й були викинуті на її периферію в результаті гравітаційного впливу планет-гігантів. Переважну більшість свого часу комети знаходяться на далеких відстанях від Сонця, де рівень сонячної радіації є досить низьким, щоб модифікувати первинний склад кометної речовини. Наближаючись до Сонця, комети стають активними й доступними для досліджень. Аналізуючи пилові та газові компоненти ком і хвостів комет, можна отримати інформацію про фізичні властивості речовини, притаманної ранній стадії формування Сонячної системи. Нова інформація, отримана в результаті дослідження комет, використовується для уточнення сучасних моделей розвитку Сонячної системи. Крім інтересу для планетної космогонії, комети привертають усе більшу увагу через те, що вони могли б бути джерелом складних органічних молекул, необхідних для виникнення життя.

Про актуальність дослідження комет свідчать різні космічні проекти. Прикладом є дослідження комети 67P/Churyumov–Gerasimenko. За допомогою космічного апарата Rosetta отримано ряд результатів, що потребують додаткових пояснень. Зокрема, було виявлено значну кількість молекулярного кисню в комі комети. Цей кисень був складовою ядра під час формування комети, чого не передбачають сучасні моделі формування Сонячної системи. Таким чином, є необхідність у створенні моделей еволюції Сонячної системи, які б повністю відповідали всім спостережним даним.

Кометний пил складає половину, а можливо, й більшу частину маси комет. Він має широкий діапазон фізичних і хімічних характеристик, оскільки комети сформувалися в різних місцях Сонячної системи. Важливо вести дослідження якомога більшої кількості комет для отримання інформації про локальні особливості ранньої Сонячної системи. Метод дослідження, використаний у дисертаційній роботі, а саме аналіз пилових хвостів вибраних комет шляхом динамічного моделювання, дає інформацію про фізичні та динамічні властивості кометного пилу, яку важко або неможливо отримати за допомогою інших методів дослідження.

Під час інтерпретації спостережних даних перед вченими постають нові задачі, розв'язання яких потребує або вдосконалення наявних методів досліджень, або розробки нових. Зокрема, у пилових хвостах ряду комет спостерігалися регулярні смугові структури. Це явище поки що не має беззастережного пояснення, тому його вивчення є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлені в дисертації дослідження виконувалися згідно з планами таких наукових тем відділу фізики малих небесних тіл Головної астрономічної обсерваторії НАН України:

1. «Фізичні властивості комет та поверхонь вибраних безатмосферних тіл Сонячної системи за даними спектрофотометрії, фотометрії та

поляриметрії», шифр 1.4.9.2/7-262В, номер держреєстрації: 0108U011183, 2009–2013 рр.

2. «Модельний аналіз пилових хвостів вибраних довгоперіодичних комет», шифр 1.4.9.2/5.1-330КТ, номер держреєстрації: 0113U005431, 2013–2014 рр.
3. «Фізичні характеристики комет, астероїдів та супутників планет за дослідженнями в оптичній ділянці спектру», шифр 1.4.9.2/1.5.1-334В, номер держреєстрації: 0113U006608, 2014–2018 рр.

В усіх перерахованих наукових програмах і темах здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в отриманні фізичних і динамічних параметрів пилових частинок та поясненні явища утворення смугових структур у пилових хвостах вибраних комет методом динамічного моделювання. Згідно з поставленою метою необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Освоїти модель, розроблену П.П. Корсуном на основі алгоритму Монте-Карло. Адаптувати модель для дослідження пилових хвостів близьких комет. Врахувати те, що льодяна складова кометних зерен повністю сублімувала і необхідний розгляд пористих тугоплавких пилових частинок. Отримати фізичні та динамічні параметри пилу, який формує хвости досліджуваних комет.
2. Провести дослідження пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) методом динамічного моделювання. Визначити фізичні й динамічні параметри пилинок, які формують хвіст, запропонувати модельний алгоритм фрагментації пилових частинок, дослідити вплив фрагментації на результати моделювання хвоста цієї комети.
3. Здійснити моделювання пилових хвостів комет C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught), C/2011 L4 (PanSTARRS). Дати пояснення спостережному явищу квазіперіодичних смугових структур. Отримати періоди обертання досліджуваних комет.

Об'єкт дослідження: пилові хвости комет.

Предмет дослідження: динамічні та фізичні властивості пилу в хвостах вибраних комет.

Методи дослідження: динамічне моделювання на основі алгоритму Монте-Карло.

Наукова новизна одержаних результатів. Комплексні дослідження, викладені в роботі, дали змогу отримати такі нові результати:

1. Запропоновано новий алгоритм моделювання фрагментації пилинок. Підтверджено значну роль фрагментації пилових частинок при формуванні пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp).
2. Запропоновано новий механізм виникнення квазіперіодичних утворень у пилових хвостах комет, що проявляються у вигляді смуг при фотометричних спостереженнях. Показано, що ключову роль у процесі утворення смугових структур відіграє активність локальних джерел пилоутворення, розміщених

на ядрі комети, що обертається. Підтверджено ефективність запропонованого механізму шляхом модельних досліджень смугових структур комет C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught), C/2011 L4 (PanSTARRS). Отримано значення осьових періодів обертання вказаних вище комет.

3. У результаті моделювання вперше отримано фізичні й динамічні параметри пилових частинок комет: C/2012 K5 (LINEAR), C/2012 S1 (ISON), C/2006 P1 (McNaught).

Практичне значення отриманих результатів. Методом динамічного моделювання отримано фізичні та динамічні параметри пилових частинок вибраних довгоперіодичних комет: характерні розміри, розподіл за розмірами, швидкості вильоту, час життя. Результати можуть використовуватися для перевірки й вдосконалення фізичної моделі кометного ядра. Також ці результати можуть бути використані для оцінки пилопродуктивності інших комет. У роботі запропоновано та перевірено за допомогою динамічного моделювання новий механізм утворення смугових структур, який може бути використаний при майбутніх дослідженнях смугових структур у пилових хвостах комет. При дослідженнях пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) запропоновано новий модельний алгоритм фрагментації пилових частинок, який може бути використаний під час майбутніх досліджень пилових складових ком комет.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів. Результати отримано на основі динамічного моделювання з використанням алгоритму Монте-Карло. Використана модель спирається на сучасні знання про кометний пил і процес формування пилових хвостів комет. Частина отриманих результатів, а саме: фрагментація пилу комети C/1995 O1 (Hale–Bopp), що проявляється у формуванні її хвоста переважно з малих пилинок, а також розміри та вік пилинок у хвості комети C/2011 L4 (PanSTARRS), підтверджена результатами інших дослідників цих комет. Значення фізичних і динамічних параметрів пилу комет C/2012 S1 (ISON) та C/2012 K5 (LINEAR) підтверджені результатами інших дослідників, отриманими для подібних об'єктів дослідження. Дієвість запропонованого механізму утворення смугових структур у пилових хвостах комет підтверджена для всіх шести розглянутих комет. Основні наукові результати досліджень апробовані на міжнародних наукових конференціях і семінарах.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем здійснено огляд літературних джерел, необхідних для роботи. У роботі [1] особисто здобувачем запропоновано та реалізовано метод врахування фрагментації пилових частинок; проведено дослідження пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) методом динамічного моделювання для трьох дат; визначено фізичні й динамічні параметри пилинок, з яких був сформований хвіст комети: розміри, розподіли за розмірами, швидкості та час життя. У роботі [2] здобувачем модельно перевірено запропонований науковим керівником механізм утворення

смугових структур у пиловому хвості комети C/2006 P1 (McNaught); отримано значення періоду осьового обертання комети; визначено фізичні й динамічні параметри пилинок. У роботі [3] здобувачем перевірено дієвість механізму утворення смугових структур у пилових хвостах комет шляхом моделювання смуг комет C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines) і C/1975 V1 (West); отримано значення періодів осьового обертання ядер цих комет, визначено фізичні й динамічні параметри пилинок. У роботі [4] здобувачем проведено моделювання структури смуг, яка спостерігалася в пиловому хвості комети C/2011 L4 (PanSTARRS); отримано значення періоду осьового обертання комети; отримано значення фізичних і динамічних параметрів пилинок. У роботах [5, 6] здобувачем проведено моделювання розподілів яскравості комет C/2012 S1 (ISON) та C/2012 K5 (LINEAR) й отримано значення фізичних і динамічних параметрів пилових частинок.

Апробація результатів дисертації. За основними результатами досліджень, представлених у дисертації, зроблено доповіді на наукових семінарах Головної астрономічної обсерваторії НАН України, а також на міжнародних конференціях, таких як:

1. 15-та міжнародна астрономічна конференція для молодих вчених (Київ, 2008 р.);
2. 16-та міжнародна астрономічна конференція для молодих вчених (Київ, 2009 р.);
3. Меморіальна міжнародна конференція «Астрономія і фізика космосу», присвячена 105-річчю С.К. Всехсвятського та 165-літтю Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, 2010 р.);
4. Міжнародна наукова конференція «Астрономічна школа молодих вчених» (Кам'янець-Подільський, 2012 р.);
5. Міжнародна наукова конференція «Астрономічна школа молодих вчених» (Кіровоград, 2014 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано протягом 2008–2015 років: шість статей [1–6] у рецензованих журналах і п'ять тез [7–11] у працях конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку цитованої літератури з 211 найменувань. Повний обсяг дисертації складає 122 сторінки друкованого тексту. Дисертація містить 22 рисунки і 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми, обраної для дослідження, визначено мету та задачі дослідження, методи розв'язання цих задач, зазначено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами і темами та наукову

новизну дослідження, вказано практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації.

У розділі 1 «Кометний пил» проводиться огляд літератури, висвітлюється сучасний стан проблем, що розглядаються в дисертації. Зокрема, коротко подано історію дослідження кометного пилу як наземними методами, так і за допомогою космічних апаратів із описом отриманих різними методами характеристик комет і кометної речовини. Зроблено огляд сучасних знань про фізичні й динамічні параметри та хімічний склад кометного пилу, а також процесів, які відбуваються в комах комет. Висвітлено основні положення, необхідні для розгляду питання руху кометного пилу. Один із підрозділів присвячений періодичним смуговим утворенням, які спостерігалися у пилових хвостах ряду комет. Подано інформацію щодо теорій, за допомогою яких намагаються пояснити це явище, їх переваг та недоліків.

У розділі 2 «Методика й техніка дослідження кометного пилу за допомогою динамічного моделювання» подано інформацію про наявні модельні методи дослідження пилу комет, приділяючи ключову увагу методу, покладеному в основу дисертаційної роботи, а саме моделі, розробленої П.П. Корсуном, яку він активно використовує для досліджень віддалених комет. Модель використовує алгоритм Монте-Карло, який дозволяє враховувати анізотропні викиди пилу, а також дає можливість розглядати рух пилу з деякою початковою швидкістю, яка не є фіксованою, а має певне найбільш ймовірне значення. Саме ці дві характеристики є суттєвими перевагами цієї моделі у порівнянні з класичною моделлю Фінсона–Пробстейна і, зокрема, дають можливість досліджувати смугові структури.

Для моделювання пилової складової комет зручно користуватися кометоцентричною системою координат x'_1, x'_2, x'_3 , а також використовувати відповідні сферичні координати r, φ, θ . Для побудови пилового хвоста комети простежується траєкторія кожної окремої пилинки від моменту її вильоту із зони зіткнень до моменту спостереження. Для задання початкових геометричних умов, а також радіусів пилових частинок використовується алгоритм Монте-Карло [12]. Головні положення методу Монте-Карло наступні. Якщо $p(x)dx$ – це ймовірність того, що величина X знаходиться в діапазоні між x та $x+dx$, і якщо відомо, що X завжди знаходиться між значеннями a і b , тобто:

$$\int_a^b p(x)dx=1,$$

тоді значення випадково розподіленого параметра x визначається з рівняння:

$$R_i = \int_a^x p(x)dx,$$

де R_i – випадкове число, рівномірно розподілене на проміжку від 0 до 1. Відповідно до принципу Монте-Карло, момент вильоту пилинки з ядра, t_i :

$$t_i = R_i(T_{st} - T_{ob}),$$

де T_{st} – найбільш ранній момент викиду пилинок із ядра комети, T_{ob} – момент спостереження. Якщо розглядати ядро як ізотропне джерело пилових частинок, то всі можливі напрямки їх вильоту матимуть однакову ймовірність. Тоді сферичні полярні кути φ_i , θ_i можуть бути обчислені за формулами:

$$\varphi_i = 2\pi R_i, \cos(\theta_i) = 1 - 2R_i.$$

Для опису розподілу пилинок за розмірами традиційно використовується закон $n(a) = a^\gamma$ [14, 16] з показником степеня, який є модельним параметром. Тоді рівняння для визначення радіусів пилових частинок a_i , що залишають зону зіткнень навколо ядра комети, наступне:

$$a_i = (a_{min}^{\gamma+1} + (a_{max}^{\gamma+1} - a_{min}^{\gamma+1})R_i)^{1/(\gamma+1)},$$

де a_{min} та a_{max} – найменший і найбільший радіуси модельованих пилинок.

Пилінки залишають зону зіткнень з усталеною швидкістю, яка обернено пропорційна квадратному кореню розміру пилінки [16]. Враховуючи те, що швидкість пилінки обернено пропорційна квадратному кореню геліоцентричної відстані [13], отримуємо:

$$V = Ar^{-0.5}a^{-0.5},$$

де V – усталена швидкість пилінки, A – числовий параметр моделі, r – геліоцентрична відстань пилінки.

Для визначення положення кожної пилової частинки розв'язується система рівнянь руху під дією двох основних сил: сонячної гравітації й тиску сонячного випромінювання. Отримані кометоцентричні координати пилинок проектуються на небесну площину для порівняння зі спостережними даними. У модель закладено можливість розгляду як ізотропного витоку пилових частинок із поверхні, так і неізотропного витоку пилу [19].

При модельному аналізі пилових хвостів комет, які перебували на близькій до Сонця відстані, враховувалося, що льодяний компонент частинок повністю сублімував. Тому потрібно аналізувати рух сильно пористих тугоплавких пилинок. Яскравість пилінки пропорційна її освітленості та відбивній здатності. Як відомо, освітленість від точкового або сферично симетричного джерела (яким є Сонце) змінюється обернено пропорційно квадрату відстані від нього. У припущенні сферичності пилінки кількість відбитого світла пропорційна квадрату її радіуса. Ці співвідношення враховуються при знаходженні блиску кожної пилової частинки, щоб зрештою отримати бажаний розподіл яскравості у пиловому хвості.

Оригінальні результати подано в розділах 3–6.

У розділі 3 «Характеристики пилу комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) за результатами динамічного моделювання» приведено результати дослідження пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) методом динамічного

моделювання. Для моделювання розподілу яскравості вибрано зображення комети за три доперигелійні дати: 8 лютого, 18 лютого і 7 березня 1997 року. Зображення отримав Г. Мікуш за допомогою ПЗЗ-матриці та спеціалізованого кометного фільтра, який пропускає лише випромінювання світла, розсіяного на пилинках. Максимум смуги пропускання фільтра знаходиться на довжині хвилі 647 нм, півширина 10 нм [1].

Проведені модельні дослідження показали необхідність врахування фрагментації пилових частинок під час дослідження пилового хвоста цієї комети. Запропоновано модельний алгоритм врахування фрагментації пилу. З деякою ймовірністю, яка є модельним параметром, пилінка фрагментує. Якщо припустити, що фрагментація в основному відбувається в зоні зіткнень коми комети, то, у деякому наближенні, можна розглядати одночасний виліт із зони зіткнень фрагментів, на які розпалася батьківська пилова частинка. Як відомо, пилінки різних розмірів, які покинули ядро комети в один і той же момент часу, будуть перебувати на одній лінії у хвості комети, формуючи синхрону. Як граничні умови для такої лінії ми повинні розглянути положення нефрагментованої пилінки й найменшого можливого фрагмента. Радіуси фрагментів отримуються за допомогою випадкових чисел R_i і контролюються законом збереження маси. Варто зазначити, що висновок про суттєве значення фрагментації пилових частинок при формуванні хвоста саме цієї комети зроблено також іншими авторами [15, 16, 22].

З урахуванням фрагментації пилу відтворено розподіл яскравості у хвості комети для трьох різних дат із близькими за значеннями модельними параметрами. Критерієм узгодженості спостережених і модельних даних слугувала мінімізація площі між відповідними модельними та спостережними ізфотами (рис. 1).

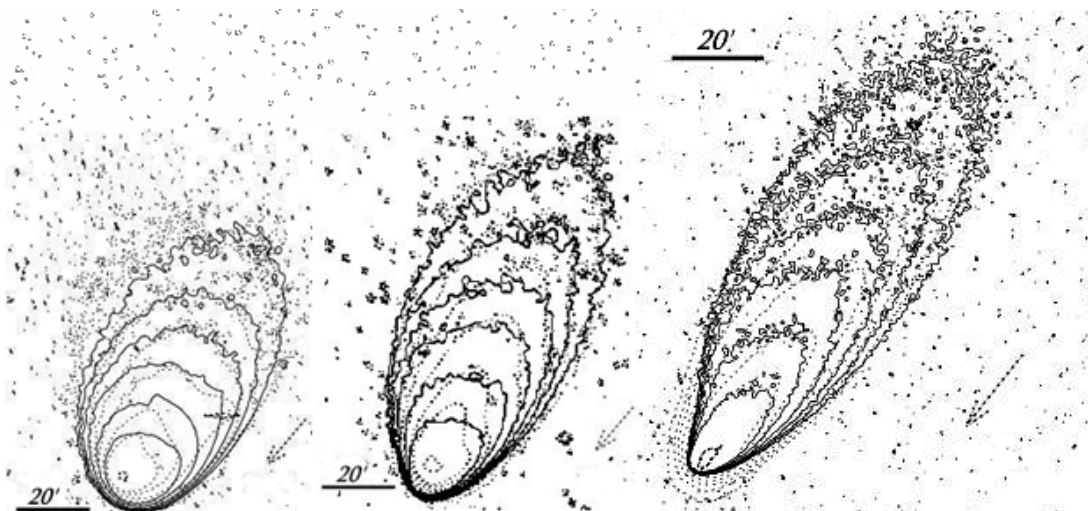


Рис. 1. Зіставлення ізофот комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) для дат 8 лютого, 18 лютого і 7 березня 1997 року (зліва направо). Суцільні лінії – модельні, точкові лінії – спостережні ізфоти. Приведено масштаб і напрямок на Сонце (стрілкою).

У результаті моделювання отримано значення максимального віку пилових частинок (56–66 діб), швидкостей їх вильоту із зони зіткнень (140–720 м/с), їх характерних розмірів (0.3–8 мкм) і показника степеня розподілу за розмірами (–3.6...–3.7). Отримані значення показника степеня, а також наявність фрагментації свідчать про збільшення кількості дрібних пилинок у пиловому хвості комети, що підтверджено також дослідженнями інших авторів [15, 16].

У розділі 4 «Модельні дослідження смугових структур у пилових хвостах комет» представлено результати модельних досліджень комет C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS), у пилових хвостах яких спостерігалися квазіперіодичні смугові структури. Спостережене явище смугових структур у хвостах комет запропоновано пояснити активністю локальних областей, розміщених на поверхні ядра комети. У результаті обертання ядра навколо своєї осі активні області по чергово перебувають то на освітленій Сонцем, то на затіненій частині поверхні. Темпи виділення речовини при цьому значно відрізняються, завдяки чому й формуються неоднорідності в хвості, які набувають вигляду смуг. Було виконано перевірку зазначеного механізму за допомогою динамічного моделювання. Додатковим модельним параметром при моделюванні смуг був період осевого обертання ядра комети.

Для моделювання пилового хвоста комети C/2006 P1 (McNaught) вибрано одне з найбільш вдалих зображень, отриманих Д. Хедлендом 24 січня 2007 року¹. У момент спостереження комета перебувала на відстані 0.44 а.о. від Сонця й 0.96 а.о. від Землі, а в її хвості були чітко помітні смуги. За допомогою динамічного моделювання відтворено морфологічні характеристики комети, у тому числі спостережену, чітко виражену структуру смуг, що було пріоритетним завданням модельного дослідження (рис. 2).

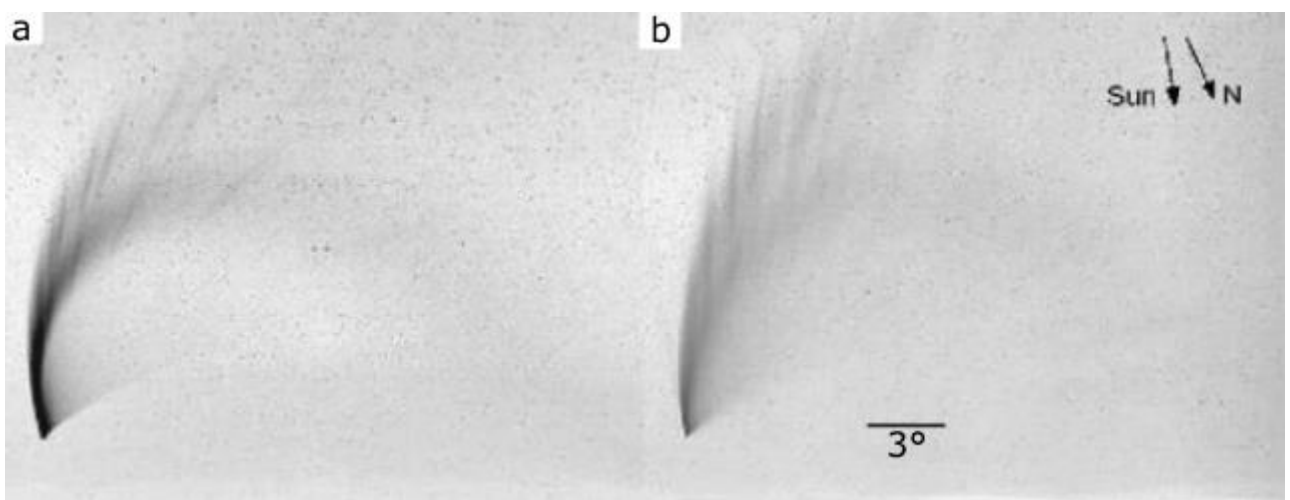


Рис. 2. Зображення комети C/2006 P1 (McNaught): а – модельне, б – отримане зі спостережень 24 січня 2007 року.

¹ <http://www.cortinastelle.it/comete/2006P1-mcnaught-best.htm>

Морфологію коми вдалося модельно відтворити при розгляді витоку речовини як із активних областей на поверхні ядра, так і з усієї поверхні ядра. Моделювання спостережуваних смугових структур здійснено шляхом розгляду виділення відмінних за розмірами пилинок із різних локальних активних областей А1, А2 та В. Области А1 і А2 є джерелами рівних за розмірами пилинок і відрізняються своїм місцем знаходження на поверхні ядра комети, область В є джерелом більших за розмірами пилинок (див. таблицю). Наявність локальних активних областей, які є джерелами різних за розмірами пилинок, може непрямим чином свідчити про неоднорідний склад ядра комети. У результаті моделювання отримано значення фізичних і динамічних характеристик пилинок: діапазон радіусів (a), діапазон швидкостей (V), степінь розподілу за розмірами (γ) і максимальний вік пилинок, які представлено в таблиці.

Таблиця

Оптимальні модельні параметри пилинок хвоста комети C/2006 P1 (McNaught).

Джерело виділення пилу	Максимальний вік пилинок, доби	a , мкм	γ	V , м/с
Активна область А1	12	0.2–0.48	–	390–604
Активна область А2	12	0.2–0.48	–	390–604
Активна область В	12	0.33–0.77	–	317–470
Вся поверхня ядра	11.2	0.35–65.0	–3.5	33–456

Як результат моделювання встановлено, що період осьового обертання комети становить 21 годину.

У підрозділі 4.3 описано модельні дослідження смуг у пиловому хвості комети C/1910 A1 (Great January Comet), яка перетнула точку перигелію 17 січня 1910 року на відстані 0.13 а.о. і перебувала найближче до Землі 18 січня 1910 року на відстані 0.86 а.о. Комета належить до значно запилених. Отримане в результаті моделювання зображення порівнювалося з тим, яке отримав 27 січня 1910 року в Ташкенті І.І. Сікора [23]. Методом динамічного моделювання відтворено смугові структури в хвості, в результаті чого отримано значення параметрів пилинок: діапазон радіусів (0.2–0.6 мкм), діапазон швидкостей (300–590 м/с), максимальний вік пилинок (9.37 доби). У результаті моделювання показано, що смуги утворилися завдяки активності однієї локальної області, яка модельно представлена конусом із кутом розкриття 100° . Період осьового обертання ядра виявився рівним 8.5 години.

У підрозділі 4.4 приведено результати моделювання пилового хвоста комети C/1957 P1 (Mrkos), яка перетнула точку перигелію 1 серпня 1957 року на відстані 0.35 а.о. від Сонця, а найближче до Землі знаходилась 14 серпня 1957 року на відстані 1.065 а.о. Зображення комети C/1957 P1 (Mrkos), з яким порівнювалося модельне зображення, отримане 14 серпня 1957 року А. МакКлюром [21]. Моделювання показало, що всі смуги утворилися внаслідок активності однієї локальної області, яка модельно представлена

конусом із кутом розкриття 100° . Модельні дослідження показали, що пилинки, які сформували смуги, мали радіуси 1.45–1.8 мкм, швидкості – 300–400 м/с, їх максимальний вік – 15.5 доби. Модельно визначений період обертання ядра навколо осі становить 15.4 години. Для пояснення несмугової складової пилового хвоста розглянуто витік речовини з усієї поверхні ядра комети. За результатами моделювання отримано значення показника степеня розподілу за розмірами (-3), діапазон радіусів (1.5–20 мкм), швидкості (90–400 м/с), максимальний вік пилинок (35.6 доби).

Об'єктом дослідження, розглянутим у підрозділі 4.5, був пиловий хвіст комети C/1962 C1 (Seki–Lines). Вона пройшла точку перигелію 1 квітня 1962 року на відстані 0.03 а.о. від Сонця і перебувала найближче до Землі 27 лютого 1962 року на відстані 0.62 а.о. Зображення комети C/1962 C1 (Seki–Lines), з яким зіставлялося модельне зображення, отримане А. МакКлюром 9 квітня 1962 року [24], коли комета перебувала на відстані 0.4 а.о. від Сонця. На цьому зображенні чітко видно тільки дві смуги, тому неможливо сказати напевно, чи утворилися вони завдяки активності однієї локальної області, чи завдяки двом незалежним викидами речовини. Виконано моделювання пилового хвоста комети в припущенні, що спостережні смуги утворилися завдяки активності однієї локальної області на поверхні ядра. Активну область модельно представлено конусом із кутом розкриття 10° . Внаслідок модельних досліджень отримано такі параметри: значення γ закону розподілу пилинок за розмірами становить -3 , діапазон радіусів пилинок безструктурної складової хвоста – 0.3–10.4 мкм (для смуг 0.32–0.4 мкм), швидкості пилинок становлять 100–880 м/с (для смуг 750–850 м/с), максимальний вік пилинок, з яких утворений хвіст, – 7.11 доби. Період обертання ядра навколо своєї осі за умови активності однієї локальної області – 3.42 години.

У підрозділі 4.6 описано дослідження комети C/1975 V1 (West), яка пройшла точку перигелію 25 лютого 1976 року на відстані 0.2 а.о. від Сонця й перебувала найближче до Землі 29 лютого 1976 року на відстані 0.79 а.о. Комета належить до значно запилених. Зображення комети C/1975 V1 (West), з яким порівнювалися результати моделювання, отримав 4 березня 1976 року К. Шима². На зображенні можна виділити близько дев'яти смуг, які модельно відтворені шляхом розгляду активності однієї локальної області, модельно представленої конусом із кутом розкриття 50° . Отримані характеристики пилу виявилися наступними. Діапазон радіусів пилинок становить 0.2–10.8 мкм, їх швидкості рівні 50–500 м/с, максимальний вік пилових частинок становить 7.46 доби. Період обертання ядра комети навколо осі рівний 7.35 години. Параметри пилинок, виділених із активної області й рівномірно з усієї поверхні ядра, однакові. Значення γ закону розподілу пилинок за розмірами становить -2.5 .

Під час модельних досліджень комет C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West) було виявлено, що просторова орієнтація смуг модельного та

² <http://www.perihelio.org/brill2007.htm#C1975V1>

спостережного зображень дещо відрізняються. Спостережні смуги розміщені між положенням синхрон і радіус-вектором, спрямованим від Сонця. Різниця між орієнтаціями стає більшою зі збільшенням відстані від ядра комети. Щоб модельно відтворити просторові орієнтації смугових структур цих комет, нам довелося ввести додаткове прискорення, яке діє разом із силою тяжіння і тиском сонячного випромінювання та має напрямок дії, протилежний напрямку на Сонце. Взаємодія заряджених пилових частинок із локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля є ймовірною інтерпретацією додаткової сили [20]. Ще одним чинником, який викликає додаткове прискорення, можуть бути сублімаційні процеси. Додаткове прискорення у напрямку, протилежному Сонцю, створюється вивільненням унаслідок сублімації газом із багатих летючими складовими кометних зерен [25].

У підрозділі 4.7 приведено результати дослідження пилового хвоста комети C/2011 L4 (PanSTARRS), яка мінімальної відстані від Землі (1.1 а.о.) досягла 5 березня 2013 року, а точку перигелію перетнула 10 березня 2013 року на відстані 0.3 а.о. Відомо, що ця комета багата на пил. Зображення, отримане в результаті моделювання, порівнювалося зі спостережним зображенням, отриманим Л. Комоллі 21 березня 2013 року³ (рис. 3). На момент спостереження комета знаходилася на відстані 0.46 а.о. від Сонця й 1.19 а.о. від Землі.

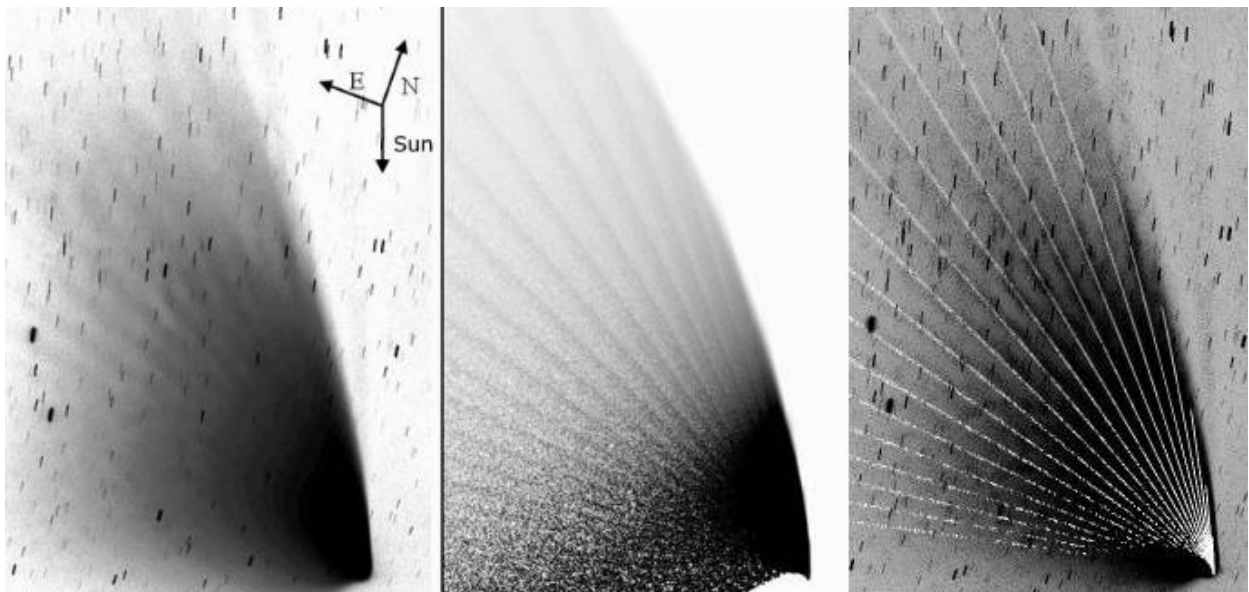


Рис. 3. Зліва направо розміщено спостережне зображення комети C/2011 L4 (PanSTARRS), модельне зображення і спостережне зображення зі стилізованим накладенням модельних смуг. Розмір зображень – $1.7^{\circ} \times 2.65^{\circ}$.

Під час модельних досліджень розглядалося пилоутворення двох видів: виділення пилу з активної області, розташованої на ядрі комети, що обертається, та ізотропне виділення пилу з усієї поверхні ядра комети. Фізичні й динамічні характеристики пилу в обох випадках однакові. Просторова

³ <http://www.astrosurf.com/comolli/com38.htm>

орієнтація модельних смуг приблизно збігається з орієнтацією цих же смуг спостережного зображення, тому потреби введення додаткового прискорення немає. Моделювання показало, що наявність смугових структур у хвості комети можна пояснити активністю однієї локальної області. Модельним аналогом активної області був конус із кутом розкриття 100° . Моделювання показало, що період осевого обертання комети становить 17.2 години. Отримано значення максимального віку пилових частинок, які формують хвіст (47 діб), швидкостей їх вильоту із зони зіткнень (12–460 м/с), їх характерного розміру (0.22–82 мкм) і показника степеня розподілу за розмірами (-3.1). Ілюстрацією результатів модельних досліджень цієї комети є рисунок 3.

Таким чином, для пояснення присутності смугових структур у хвостах комет запропоновано механізм активності локальних областей, які знаходяться на поверхні ядра, що обертається. Необхідним для утворення смуг є виконання умови, щоб витік речовини з локальної активної області був рівним або більшим, ніж витік речовини з усієї поверхні ядра. Крім того, кількість потужних активних областей повинна бути невеликою, інакше їх спільна дія заважатиме структуризації хвоста комети.

У розділі 5 «Особливості пилових хвостів комет C/2012 S1 (ISON) та C/2012 K5 (LINEAR)» описано етапи й результати моделювання пилових хвостів комет C/2012 S1 (ISON) (рис. 4) та C/2012 K5 (LINEAR) (рис. 5).

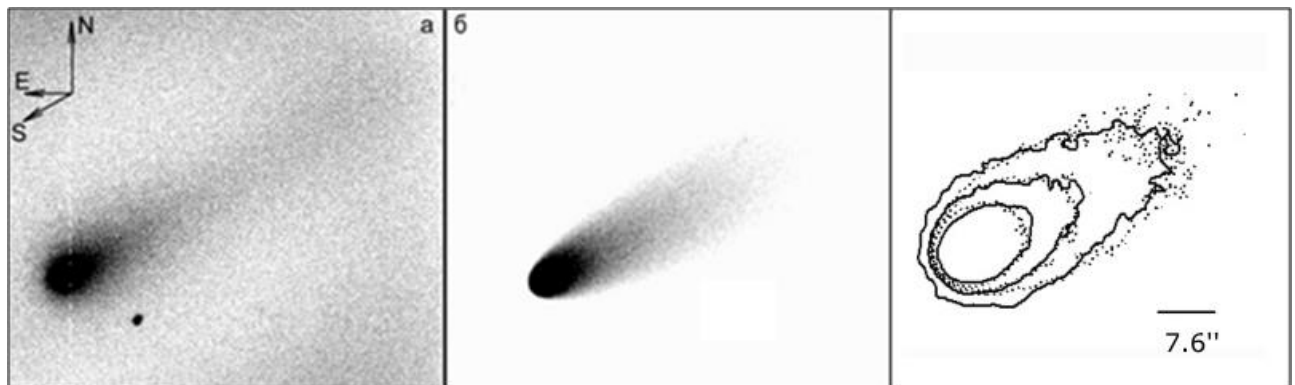


Рис. 4. Зліва направо розміщено спостережне та модельне зображення комети C/2012 S1 (ISON), а також модельні (точкові) й спостережні (суцільні) ізофоти. Зазначено напрямки на Сонце, північ, схід, а також бар $10000 \text{ км} = 7.6''$.

Зображення комети C/2012 S1 (ISON) отримав на метровому телескопі Zeiss-1000 в CAO РАН з використанням R-фільтра М.М. Кисельов [5]. Фотометричні спостереження комети C/2012 S1 (ISON) виконано 11 жовтня 2013 року. У цей період комета перебувала на відстані 1.45 а.о. від Сонця й 1.85 а.о. від Землі. За допомогою динамічного моделювання на основі алгоритму Монте-Карло відтворено розподіл яскравості у пиловому хвості комети. Критерієм найкращої узгодженості модельного та спостережного зображень слугувала мінімізація площі між відповідними модельними та спостережними ізофотами (рис. 4).

У результаті моделювання отримано характеристики пилу коми комети: радіуси (0.5–16.6 мкм), швидкості (17–130 м/с), максимальний вік (25 діб), а також показник степеня ($\gamma = -2.5$) розподілу за розмірами пилинок.

У підрозділі 5.2 описано етапи та результати динамічного моделювання комети C/2012 K5 (LINEAR). Фотометричні зображення цієї комети з використанням R-фільтра отримав О.Р. Баранський 27 вересня 2012 року на телескопі АЗТ-8, Лісники [6] (рис. 5). Комета на момент спостереження знаходилася на відстані 1.5 а.о. від Сонця та 1.8 а.о. від Землі. Розмір зображення $4.7' \times 4.7'$, що приблизно складає 375 тис. км.

Отримано оптимальні модельні параметри, які є характеристиками пилу хвоста комети C/2012 K5 (LINEAR): радіуси (0.7–100 мкм), швидкості (6–135 м/с), максимальний вік (88 діб) і показник степеня ($\gamma = -2.4$) розподілу за розмірами пилинок $n(a) = a^\gamma$. Критерієм найкращої узгодженості модельного та спостережного зображень була мінімізація площі між відповідними модельними та спостережними ізофотами (рис. 5).

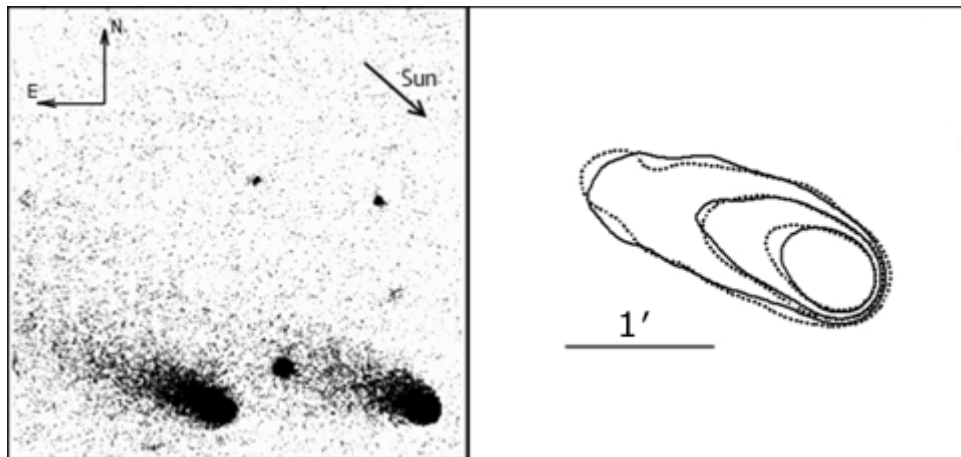


Рис. 5. Зліва направо розміщено спостережене та модельне зображення комети C/2012 K5 (LINEAR), а також модельні (суцільні) й спостережені (точкові) ізофоти. Зазначено напрямки на Сонце, північ, схід, а також масштаб.

Обидві комети мають бідну морфологію пилових хвостів у порівнянні з попередніми кометами, які розглянуто в роботі. Хвости утворилися з порівняно більших за розмірами й повільніших пилинок. Отримані в результаті моделювання швидкості пилинок узгоджуються з оцінкою швидкості пилу комети 9P/Tempel, виділеного зі штучно утвореного кратера під час місії Deep Impact. Комета тоді перебувала на відстані близько 1.5 а.о., і швидкості, досягнуті пилом після пилогазової взаємодії, знаходилися в діапазоні від 10 до 600 м/с з гаусівським максимумом близько 190 м/с [18].

У розділі 6 «Обговорення результатів» наведено аналіз та узагальнення результатів. Розглянуті в дисертаційній роботі комети характеризуються тривалими періодами обертання, різноманітністю нахилу площини орбіти й більшим, у порівнянні з короткоперіодичними кометами, вмістом летючих речовин. Також більшість розглянутих у дисертаційній роботі комет, згідно з

дослідженнями різних авторів, є запиленими, тобто відношення пилу до газу по масі помітно більше одиниці.

Оскільки ймовірною інтерпретацією додаткової сили є взаємодія з локальними збуреннями міжпланетного магнітного поля, здійснено порівняння таких параметрів, як одинадцятирічний цикл активності Сонця на момент проходження кометою точки перигелію і геліоцентрична екліптична широта комети. Показано, що утворення смуг у хвостах комет не залежить від одинадцятирічного циклу активності Сонця і від геліоцентричної екліптичної широти комети. Виявлено, що спільною рисою комет, в яких утворюються смуги в хвості, є досить вузький за значеннями діапазон відстаней від Сонця на момент спостереження, який становить 0.35–0.51 а.о.

У результаті модельних досліджень комет зі смуговими структурами в хвостах також зроблено наступні висновки: а) смуги утворюються з дрібніших пилових частинок, з-поміж тих, які загалом формують хвіст цієї комети; б) смугові структури проявляються не довговічно – лише кілька діб; в) процес утворення смуг починається близько до моменту проходження дослідженими кометами перигелію, на відстанях < 0.355 а.о.

У літературних джерелах опубліковано значення періодів осьового обертання для понад тридцятьох комет, які визначені різними методами та з різним ступенем достовірності. Ці періоди обертання знаходяться в діапазоні від кількох годин (найменший у комети 133P/Elst–Pizarro, 3.471 години) до кількох діб. Визначені нами періоди осьового обертання комет C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS) (значення яких менші, ніж одна доба) є суттєвим доповненням до наявних даних.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати досліджень методом динамічного моделювання пилових хвостів вибраних довгоперіодичних комет, зокрема особливих морфологічних утворень – смугових структур. Нижче наведено основні висновки, зроблені в результаті досліджень.

1. У результаті модельних досліджень пилових хвостів розглянутих комет отримано фізичні й динамічні характеристики пилових частинок: характерні розміри, розподіл за розмірами, швидкості вильоту та максимальний вік. Ці параметри, визначені моделюванням, складно або неможливо отримати за допомогою інших методів досліджень, що підвищує цінність роботи.
2. За допомогою динамічного моделювання відтворено смугові структури в пилових хвостах комет C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS). Залежна від освітленості активність локальних областей, розміщених на поверхні ядра, яке обертається, запропонована і модельно перевірена в якості механізму утворення смуг.

3. Через те, що кількість визначених (різними методами та з різним ступенем достовірності) періодів осьового обертання кометних ядер невелика, наведені в дисертаційній роботі (визначені методом динамічного моделювання) значення періодів осьового обертання ядер комет зі смуговими структурами є суттєвим доповненням до наявних даних.
4. Модельні дослідження хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp) показали необхідність врахування фрагментації пилових частинок. Запропоновано модельний алгоритм врахування фрагментації пилу. Методом динамічного моделювання з урахуванням фрагментації відтворено розподіл яскравості у пиловому хвості комети C/1995 O1 (Hale–Bopp). Для трьох різних дат отримано близькі за значеннями параметри пилинок, що підвищує достовірність отриманих результатів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових фахових виданнях

1. Харчук С.В. Модельный анализ пылевого хвоста кометы Хейла-Боппа / С.В. Харчук, П.П. Корсун, Г. Микуш // Кинематика и физика небесных тел. – 2009. – Т. 25, № 4. – С. 268–276.
2. Харчук С.В. Полосоподобные детали в пылевом хвосте кометы C/2006 P1 (Мак-Нота) / С.В. Харчук, П.П. Корсун // Кинематика и физика небесных тел. – 2010. – Т. 26, № 6. – С. 68–75.
3. Харчук С.В. Утворення смугових структур у пилових хвостах комет / С.В. Харчук, П.П. Корсун // Вісник Астрономічної школи. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 80–86.
4. Харчук С.В. Модель пылевого хвоста кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) / С.В. Харчук, П.П. Корсун // Кинематика и физика небесных тел. – 2015. – Т. 31, № 1. – С. 52–57.
5. Харчук С.В. Моделирование пылевого хвоста кометы C/2012 S1 (ISON) по результатам наблюдений / С.В. Харчук, А.В. Иванова, П.П. Корсун, Н.Н. Киселев, А.С. Москвитин // Астрономический вестник. – 2015. – Т. 49, № 5. – С. 353–358.
6. Харчук С.В. Модельний аналіз пилового хвоста комети C/2012 K5 (LINEAR) / С.В. Харчук, О.В. Иванова, П.П. Корсун, О.Р. Баранський // Кинематика и физика небесных тел. – 2015. – Т. 31, № 5. – С. 30–36.

Публікації в матеріалах конференцій

7. Kharchuk S.V. Dust Tail Modelling for Comet Hale-Bopp / S.V. Kharchuk // Abstracts of 15th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics, Kyiv. – 2008. – P. 14–19.
8. Kharchuk S.V. Striated Features in the Dust Tail of Comet C/2006 P1 (McNaught) / S.V. Kharchuk // Abstracts of 16th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics, Kyiv. – 2009. – P. 73–74.

9. Харчук С.В. Смогоподібні структури в пилових хвостах комет / С.В. Харчук, П.П. Корсун // Abstracts of Astronomy and Space Physics in Taras Shevchenko National University of Kyiv: Int. Conf. dedicated to 165-th Anniversary of Astron. Observatory of T. Shevchenko National University of Kyiv and 105-th Anniversary of S.K. Vsekhsvyatsky, Kyiv. – 2010. – P. 69.
10. Харчук С.В. Утворення смогоподібних структур в пилових хвостах комет / С.В. Харчук // Тези доповідей міжнародної наукової конференції «Астрономічна школа молодих вчених», Кам'янець-Подільський. – 2012. – С. 63.
11. Харчук С.В. Модельний аналіз пилового хвоста комети C/2011 L4 (PanSTARRS) / С.В. Харчук, П.П. Корсун // Тези доповідей міжнародної наукової конференції «Астрономічна школа молодих вчених», Кіровоград. – 2014. – С. 68.

СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

12. Cashwell E.D. A practical manual on the Monte Carlo method for random walk problems / E.D. Cashwell, C.J. Everett. – London: Pergamon, 1959. – P. 164.
13. Delsemme A.H. Chemical composition of cometary nuclei / A.H. Delsemme // Comets / ed. Wilkening L.L. – Tucson: University of Arizona Press, 1982. – P. 85–130.
14. Fulle M. Motion of cometary dust / M. Fulle // Comets II. / Tucson: University of Arizona Press, 2004. – P. 565–575.
15. Harker D.E. Grain Properties of Comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) / D.E. Harker, D.H. Wooden, C.E. Woodward, C.M. Lisse // Astrophys. J. – 2002. – Vol. 580, No. 1. – P. 579–597.
16. Hayward T.L. Thermal infrared imaging and spectroscopy of comet Hale-Bopp (C/1995 O1) / T.L. Hayward, M.S. Hanner, Z. Sekanina // Astrophys. J. – 2000. – Vol. 538, Iss. 1. – P. 428–455.
17. Jockers K. Observations of scattered light from cometary dust and their interpretation / K. Jockers // Earth, Moon and Planets. – 1997. – Vol. 79, Iss. 1. – P. 221–245.
18. Jorda L. Properties of the dust cloud caused by the Deep Impact experiment / [L. Jorda, P. Lamy, G. Faury, et al.] // Icarus. – 2007. – Vol. 187, Iss. 1. – P. 208–219.
19. Korsun P.P. Dust tail of the active distant Comet C/2003 WT42 (LINEAR) studied with photometric and spectroscopic observations / [P.P. Korsun, I.V. Kulyk, O.V. Ivanova, et al.] // Icarus. – 2010. – Vol. 210, Iss. 2. – P. 916–929.
20. Lamy P.L. Comet West 1975n. II – Study of the striated tail / P.L. Lamy, S. Kouchmy // Astron. Astrophys. – 1979. – Vol. 72, No. 1–2. – P. 50–54.
21. Orchiston W. Exploring the History of New Zealand Astronomy: Trials, Tribulations, Telescopes and Transits / W. Orchiston // Springer International Publish, 2015. – P. 3.

22. Owens A. Evidence for Dust-related X-Ray Emission from Comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) / [A. Owens, A.N. Parmar, T. Oosterbroek, et al.] // *Astrophys. J.* – 1998. – Vol. 493, No. 1. – P. L47–L51.
23. Pokrowski K. Synchronen im Schweife des Kometen 1910a / K. Pokrowski // *Publikationen der Kaiserlichen Universitäts-Sternwarte zu Jurjew (Dorpat).* – Vol. 21. – 1911. – P. 29–37.
24. Righini G. The abundance of isotopes in the solar atmosphere / G. Righini // *The Observatory.* – Vol. 82. – 1962. – P. 106–107.
25. Steckloff J.K. The formation of striae within cometary dust tails by a sublimation-driven YORP-like effect / J.K. Steckloff, S.A. Jacobson // *Icarus.* – 2016. – Vol. 264. – P. 160–171.

АНОТАЦІЯ

Харчук С.В. Фізичні характеристики пилу вибраних довгоперіодичних комет за результатами динамічного моделювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.03 – Геліофізика і фізика Сонячної системи. – Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, 2016.

У дисертаційній роботі наведено результати дослідження пилових хвостів вибраних довгоперіодичних комет методом динамічного моделювання на основі алгоритму Монте-Карло.

У результаті проведених досліджень доведено значну роль фрагментації пилинок при формуванні пилового хвоста комети C/1995 O1 (Hale–Bopp). Розроблено новий механізм модельного врахування фрагментації сильно пористих пилових частинок цієї комети. Здійснено моделювання розподілу яскравості у пиловому хвості комети з урахуванням фрагментації пилу для трьох різних дат із використанням близьких за значеннями модельних параметрів, що підвищує достовірність отриманих результатів.

Методом динамічного моделювання досліджено смугові структури, які спостерігаються у пилових хвостах ряду комет. В якості пояснення цього явища запропоновано діяльність локальних активних областей на поверхні ядра, яке обертається. Формування смуг зумовлене різним темпом виділення речовини з активних областей у залежності від освітленості Сонцем. Дієвість запропонованого механізму підтверджена в результаті модельних досліджень. Отримано значення періодів осьового обертання комет C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught), C/2011 L4 (PanSTARRS), визначених модельними дослідженнями.

Шляхом модельних досліджень пилових хвостів комет C/1995 O1 (Hale–Bopp), C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS), C/2012 S1 (ISON), C/2012 K5 (LINEAR) визначено фізичні й динамічні характеристики пилових частинок: діапазон розмірів, розподіл за розмірами, швидкості вильоту та час життя. Отримані модельним шляхом фізичні й

динамічні параметри складно або неможливо отримати за допомогою інших методів досліджень, що підвищує цінність роботи.

Ключові слова: пилові хвости комет, фізичні параметри кометного пилу, періоди осевого обертання комет, смугові структури в хвостах комет.

АННОТАЦІЯ

Харчук С.В. Физические характеристики пыли избранных долгопериодических комет по результатам динамического моделирования.
– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – Гелиофизика и физика Солнечной системы. – Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, 2016.

В диссертационной работе приведены результаты исследований пылевых хвостов избранных долгопериодических комет с использованием метода динамического моделирования. Для модельного построения пылевого хвоста прослеживается траектория каждой отдельной пылевой частицы от момента её вылета из зоны столкновений до момента наблюдения. Направления вылета, моменты вылета и размеры пылевых частиц задаются с помощью алгоритма Монте-Карло. Скорость вылета пылевой частицы из зоны столкновений зависит от радиуса пылинки и является модельным параметром. Для определения местоположения каждой пылевой частицы на момент наблюдения решается система уравнений движения под действием двух основных сил: солнечной гравитации и давления солнечного излучения. Затем определяется вклад каждой пылинки в яркость хвоста: она обратно пропорциональна квадрату расстояния от Солнца и прямо пропорциональна квадрату радиуса пылинки. Полученный трехмерный модельный хвост проектируется на небесную сферу для сравнения с данными наблюдений. В модель заложена возможность рассмотрения как изотропного, так и неизотропного истечения пыли с поверхности. Кроме того, было принято, что скорости характеризуются распределением Гаусса с дисперсией 0.1.

С помощью динамического моделирования доказана значительная роль фрагментации пылевых частиц при формировании пылевого хвоста кометы C/1995 O1 (Hale–Bopp). Разработан модельный механизм учета фрагментации очень пористых пылевых частиц этой кометы. Учитывая фрагментацию пыли, модельно воспроизведено распределение яркости в пылевом хвосте кометы для трех разных дат с использованием близких по значениям модельных параметров, что повышает достоверность полученных результатов.

Модельно исследованы квазипериодические структуры в виде полос, которые наблюдались в пылевых хвостах ряда комет. В качестве объяснения этого явления предлагается активность локальных областей на поверхности вращающегося ядра кометы. Формирование полос обусловлено разным темпом выделения вещества из активных областей в зависимости от освещенности

Солнцем. Действенность предложенного механизма подтверждена в результате модельных исследований. Получены значения периодов осевого вращения комет C/1910 A1 (Great January Comet), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1957 P1 (Mrkos), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught), C/2011 L4 (PanSTARRS). Так как количество определенных (разными методами и с разной степенью достоверности) периодов осевого вращения кометных ядер небольшое, приведенные в диссертационной работе (определенные методом динамического моделирования) значения периодов осевого вращения ядер комет являются весомым дополнением к имеющимся данным.

В результате модельных исследований пылевых хвостов комет C/1995 O1 (Hale–Bopp), C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS), C/2012 S1 (ISON), C/2012 K5 (LINEAR) получены физические и динамические характеристики пылевых частиц: характерные размеры, распределение по размерам, скорости вылета из зоны столкновений и время жизни. Полученные модельным путем параметры сложно или невозможно получить с помощью других методов исследований, что повышает ценность работы.

Ключевые слова: пылевые хвосты комет, физические параметры кометной пыли, периоды осевого вращения комет, структуры в виде полос в хвостах комет.

ANNOTATION

Kharchuk S.V. The physical characteristics of dust of the selected long-period comets derived from the dynamical modeling. – Manuscript.

Candidate degree thesis by speciality 01.03.03 – Heliophysics and physics of the Solar System. – Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The results of the Monte Carlo model analysis of the dust tails formation of selected long-period comets are presented. Significant role of the dust particles fragmentation in forming dust tail of comet C/1995 O1 (Hale–Bopp) is proved. A new model calculation method of fragmentation process of highly porous comet dust particles is developed. The brightness distribution in the comet dust tail was fitted to similar model parameters for three different dates with taking into account the fragmentation process.

The striae dust features in comet tails is investigated. The presence of local active regions on the rotating nucleus surface is suggested as a possible explanation of this phenomenon. The striated features are caused by different dust production rate, depending on the Sun illumination. The effectiveness of the proposed mechanism is confirmed as result of modeling studies. The model experiments evaluate the axial rotation periods of comets C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1975 V1 (West), C/2006 P1 (McNaught), C/2011 L4 (PanSTARRS).

Physical characteristics of the dust particles such as sizes, size distribution, ejection velocities, and their lifetimes are received as results of dynamic modeling of the dust tail formation of comets C/1995 O1 (Hale–Bopp), C/2006 P1 (McNaught), C/1910 A1 (Great January Comet), C/1957 P1 (Mrkos), C/1962 C1 (Seki–Lines), C/1975 V1 (West), C/2011 L4 (PanSTARRS), C/2012 S1 (ISON), C/2012 K5 (LINEAR).

Key words: dust tails of comets, physical properties of cometary dust, rotation periods of cometary nuclei, striae in cometary tails.