

## Анотація серії робіт

Серія наукових робіт співробітників ГАО НАН України  
к.ф.-м.н. Іванової О.В., к.ф.-м.н. Корсуна П.П. і к.ф.-м.н. Кулик І.В.,  
об'єднана спільною темою

### «Фізичні характеристики комет за даними спектrophотометричних досліджень та динамічного моделювання».

Роботи присвячені визначенню фізичних характеристик пилу і газу в комах та хвостах комет за даними фотометричних і спектральних спостережень в широкому діапазоні геліоцентричних відстаней; розробленню моделі формування пилових утворень на основі статистичного підходу Монте-Карло та її застосуванню для пояснення спостережених даних.

В результаті спектральних досліджень проведено детальне ототожнення молекулярних емісій шляхом порівняння спостережених даних з лабораторними даними, або з розрахованими спектрами молекул. В спектрах п'яти комет, які були отримані на близьких відстанях від Сонця з помірною роздільною здатністю, виявлено емісії молекул  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $CN$ ,  $CH$ ,  $NH_2$ ,  $CO^+$  і  $CH^+$  та для ряду з них за допомогою моделі Хазера проведені оцінки газопродуктивності. Проведено аналіз розподілу енергії в континуумі та виявлено ефект почервоніння, який виявився співставним з раніше отриманими даними. Спектральні та фотометричні спостереження трьох комет, які проявляли значну активність на великих відстанях від Сонця (далі «віддалені комети»), проводилися в режимі моніторингу протягом 4.5-8 років та покривали геліоцентричні відстані від 6.1 до 16.8 астрономічних одиниць. В спектрах комет C/2003 WT42 (LINEAR) та C/2006 S3 (LONEOS) не виявлено молекулярних емісій, спостерігався лише континуум. Стосовно газової компоненти отримані верхні межі для потоків очікуваних молекул, а для нейтральних молекул проведені оцінки верхньої межі газопродуктивності. Аналіз розподілу енергії в континуумі свідчить про наявність ефекту почервоніння, а градієнт зростання відбивної здатності пилу помітно більший в голубій ділянці спектру. Наприклад, в спектрі комети C/2006 S3 (LONEOS) градієнт становить  $15.1 \pm 4.9\%/1000 \text{ \AA}$  в спектральному інтервалі 3800–4900  $\text{\AA}$  та  $2.8 \pm 0.3\%/1000 \text{ \AA}$  в спектральному інтервалі 4900–6800  $\text{\AA}$ . Аналіз спектрів комети C/2002 VQ94 (LINEAR) виявив наявність емісійних смуг  $CO^+$  та  $N_2^+$  на рекордних відстанях від Сонця, 8.36 астрономічних одиниць.

З фотометричних спостережень комети 29P/ Schwassmann-Wachmann 1 вдалося виділити малоконтрастні джети в комі комети та оцінити період обертання кометного ядра рівним  $\sim 12$  годинам. Завдяки фотометричному моніторингу віддалених комет отримано, що віддалені комети показують значну та тривалу активність по часу на великих геліоцентричних відстанях та більш активні до перигелію, ніж після його проходження. Активність комети C/2002 VQ94 (LINEAR) була доволі високою на геліоцентричній відстані 9.9 астрономічних одиниць, але в її спектрі вже зникли молекулярні емісії. На відстані 13.4 астрономічних одиниць комета була все ще активна, але на відстані 16.8 астрономічних одиниць коми вже не спостерігалось. Фотометричний моніторинг комети C/2006 S3 (LONEOS) проводився, коли

геліоцентрична відстань комети змінювалася від 13.8 до 5.1 астрономічних одиниць. Отримані результати вказують на високу фізичну активність комети на відстанях, на яких не відбувається сублімація водяного льоду. Поясненням її активності може слугувати процес відпалення аморфного водяного льоду, збагаченого більш летючими льодами, під дією сонячної радіації. Аналіз фотометричних досліджень трьох віддалених комет показав, що їхню довготривалу активність можна пояснити постійною сублімацією високолетючих льодів та за рахунок постійного знесення верхніх поверхневих шарів кометного ядра.

Одним із дієвих методів визначення фізичних характеристик пилової компоненти комет є модельний аналіз. Підібравши за допомогою моделювання спостережений розподіл яскравості в хвості комети, задавши при цьому фізичні параметри пилинок, як модельні параметри, можна оцінити розміри та розподіл за розмірами пилинок, швидкості їхнього вильоту, топографію активності ядра комети та ін. Для визначення фізичних параметрів пилу в комі та хвості комети авторами проекту була розроблена оригінальна модель пилових хвостів комет та успішно застосована для пояснення спостережених даних. Особливістю даної моделі, яка вигідно виділяє її поміж подібних розробок, є можливість врахування сублімації льодяної компоненти пилинок, що вкрай важливо при інтерпретації пилових утворень віддалених комет. Фізичні параметри пилинок в комі та хвості комети C/2003 WT42 (LINEAR) обґрунтовано через моделювання змінюваної з часом на протязі 4.5 років морфології пилового хвоста з близьким по значенням набором модельних параметрів. Модельно було обґрунтовано, що спостереження, виконані 17 травня 2009 р., можна пояснити лише повним згасанням активності ядра за 1.5 року до моменту спостережень. Розподіл яскравості в хвості віддаленої комети C/2006 S3 (LONEOS) вдалося промодельовати в припущенні переважного витоку речовини з двох локальних зон на поверхні ядра комети.

В моделі реалізовано можливість розглядати витік речовини з локальних зон на поверхні ядра комети. Це дозволило модельно відтворити морфологію пилових хвостів комет зі смуговими утвореннями. В основу запропонованого пояснення покладена ідея, що формування смуг обумовлене різним темпом виділення речовини з активних областей залежно від того, розташовуються вони на освітленій чи на затіненій стороні ядра комети, що обертається. Ефективність запропонованого механізму підтверджено моделюванням пилових хвостів шести комет. Крім фізичних параметрів пилинок в хвостах згаданих комет, вдалося отримати і періоди обертання їхніх ядер.

## **Висновки**

Проведені дослідження ґрунтуються на спостереженнях, отриманих авторами проекту на восьми телескопах, серед яких 6.0-м телескоп БТА Спеціальної астрофізичної обсерваторії РАН (Росія) та 2.0-м телескоп Міжнародного центру астрономічних та медико-екологічних досліджень (Росія, Україна). Для обробки даних були застосовані сучасні методики, частина з яких розроблена авторами проекту. Виконано дослідження 21 комети в діапазоні геліоцентричних відстаней між 0.6 та 16.8 астрономічних одиниць. Особливу увагу приділялося дослідженню комет, що проявляють значну активність на

великих геліоцентричних відстанях. Основна доля цих комет була спостережена на 6-м телескопі БТА в рамках проекту «Фізичні властивості комет, які проявляють активність на великих геліоцентричних відстанях». Характерною особливістю цих комет є те, що вони проявляють значну активність на відстанях поза орбітою Юпітера, і для її пояснення необхідно задіяння додаткових фізичних процесів, які не враховувалися в рамках традиційних уявлень про природу комет.

Найбільш важливі результати проведених досліджень:

- Були ототожені емісії нейтральних молекул та іонів ( $C_2$ ,  $CN$ ,  $CH$ ,  $NH_2$ ,  $CO^+$ ,  $CH^+$ ,  $H_2O^+$ ) в спектрах 5 комет на близьких відстанях від Сонця через порівняння з лабораторними даними та визначена газопродуктивність ряду нейтральних молекул.
- Були знайдені емісії  $CO^+$  та  $N_2^+$  в спектрах комети C/2002 VQ94 (LINEAR) на рекордній відстані 8.36 астрономічних одиниць, було встановлено, що емісії зникають в інтервалі геліоцентричних відстаней 8.36-9.86 астрономічних одиниць. В жодному іншому об'єкті Сонячної системи емісії іонів в оптичному діапазоні на таких геліоцентричних відстанях з поверхні Землі до цих пір не спостерігалися. Більше того, наші спостереження смуг  $N_2^+$  світовою спільнотою визнані як єдині в історії наземних спостережень комет, що всесторонньо обґрунтовані.
- На прикладі комети 29P/ Schwassmann-Wachmann 1 вперше в кометних дослідженнях був застосований модельно незалежний метод кореляції для визначення періоду обертання ядра комети. Встановлено, що період обертання ядра комети становить ~12 годин.
- Моніторинг змін яскравості віддалених комет, проведений в широкому діапазоні геліоцентричних відстаней, свідчить про їх значну та тривалу активність по часу на великих відстанях від Сонця.
- Розроблено та застосовано модель формування пилових утворень комет на основі методу Монте-Карло, в якій враховується ефект сублимації льодяної компоненти частинок за допомогою введення змінної маси.
- Шляхом моделювання аргументовано можливий механізм утворення смугових структур в хвостах комет, який полягає в тому, що формування смуг обумовлене різним темпом виділення речовини з активних областей, залежно від того, розташовуються вони на освітленій чи на затіненій стороні ядра комети, що обертається.
- Отримано періоди обертання ядер шести комет, що є вагомим внеском в банк даних фізичних характеристик комет (на цей час періоди обертання оцінені для трохи більше трьох десятків ядер комет).

Канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.

Іванова О.В.

Канд. фіз.-мат. наук, зав.лаб.

Корсун П.П.

Канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.

Кулик І.В.