



ISSN 1607–2855

Том 8 • № 1 • 2012 С. 75 – 79

УДК 523.61, 523.64

Дослідження спектрів комети 81P/Wild 2, отриманих в березні–квітні 2010 року

К.І. Чурюмов, В.О. Пономаренко, В.В. Клецонок, О.Р. Баранський, Н.С. Коваленко

Астрономічна обсерваторія та кафедра астрономії і фізики космосу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Короткоперіодична комета 81P/Wild 2 сімейства Юпітера була головною ціллю космічної місії "Stardust" в 2005 році. З 27 по 29 березня та з 2–4 квітня 2010 року за допомогою 2-м телескопа-рефлектора Zeiss та спектрографа з ешелє було отримано сім оптичних спектрів з середньою роздільною здатністю. Спостереження проводилися на високогірній спостережній станції "Терскол" Інституту астрономії РАН та Головної астрономічної обсерваторії НАН України. Комета знаходилася на геліоцентричній відстані 1.6 а.о. і геоцентричній відстані 0.7 а.о., мала інтегральну зоряну величину $T=9.8$. У роботі представлений енергетичний розподіл в спектрах комети 81P та ідентифікація емісійних кометних ліній. Також проведено дослідження наявності люмінесцентного континууму та визначено його фізичні параметри.

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ КОМЕТЫ 81P/WILD 2, ПОЛУЧЕННЫХ В МАРТЕ–АПРЕЛЕ 2010 ГОДА, Чурюмов К.И., Пономаренко В.А., Клецонок В.В., Баранский А.Р., Коваленко Н.С. — Короткопериодическая комета 81P/Wild 2 семейства Юпитера была главной целью космической миссии "Stardust" в 2005 году. С 27 по 29 марта и с 2–4 апреля 2010 года с помощью 2-м телескопа-рефлектора Zeiss и спектрографа с эшелле было получено семь оптических спектров со средней разрешающей способностью. Наблюдения проводились на высокогорной наблюдательной станции "Терскол" Института астрономии РАН и Главной астрономической обсерватории НАН Украины. Комета находилась на гелиоцентрическом расстоянии 1.6 а.е. и геоцентрическом расстоянии 0.7 а.е., имела интегральную звездную величину $T=9.8$. В работе представлено энергетическое распределение в спектрах кометы 81P и идентификация эмиссионных кометных линий. Также проведено исследование наличия люминесцентного континуума и определены его физические параметры.

EXPLORATION OF SPECTRA OF COMET 81P/WILD 2 OBSERVED IN MARCH–APRIL 2010, by Churyumov K.I., Ponomarenko V.O., Kleshchonok V.V., Baransky O.R., Kovalenko N.S. — Short period comet 81P/Wild 2 of Jupiter's comet family was the main target of the space mission "Stardust" in 2005. Seven middle-resolution optical spectra of comet 81P/Wild 2 were obtained on 27–29 March and 2/3 April 2010 with the help of the 2-m Zeiss reflector and echelle-spectrograph of the High-mountain astronomical station of Institute of Astronomy of Russian Academy of Sciences and Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine at Peak Terskol. The comet was at heliocentric distance 1.6 A.U. and geocentric one 0.7 A.U. and had the integral magnitude equal to 9.8 mag. We present the energy distribution in the spectra of comet 81P and the identification of the spectral emission lines in these spectra. Presence of luminescent continuum in the spectra of comet 81P is discussed and some physical parameters of luminescent continuum were calculated.

Ключевые слова: комета 81P/Wild 2; спектр; эмиссионные линии; люминесцентный континуум.

Key words: comet 81P/Wild 2; spectrum; emission lines; luminescent continuum.

1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОМЕТИ 81P/WILD 2

Комета 81P/Wild 2 була відкрита Паулем Вілдом (Інститут астрономії в Берні, Швейцарія) на знімках, отриманих ним 6 та 8 січня 1978 року. За ствердженням відкривача, комета мала інтегральну зоряну величину між 13.5^m та 14^m , з помітним центральним згущенням. Про відкриття було повідомлено в IAU Circular 3166 (26 січня 1978 р.). Тим часом Вілд отримав зображення комети ще 25 січня. Ці спостереження дозволили Б.Д.Марсдену (Центральне бюро астрономічних телеграм) встановити приблизні елементи орбіти та період обертання рівний 6.15 року.

Марсден показав в 1978 р., що ця комета проходила доволі близько від Юпітера в 1974 р. С. Накано в 1979 році порахував елементи орбіти детальніше і показав, що в 1974 році комета пройшла від Юпітера на відстані лише 0.2 а.о. Це проходження різко скоротило період обертання навколо Сонця з ≈ 40 до 6.17 років, а перигелійну відстань з 4.9 а.о. до 1.49 а.о. Комета з'явилася знову у вересні 1983 р. і з тих пір довгий час була досяжною спостерігачам за допомогою сучасних телескопів. Після її повернення в 1983 році, спостереження проводились щомісяця аж до квітня 1984. Додаткові спостереження були отримані в період з квітня 1985 до вересня 1986 р. Після зникнення в 1987 р. (кометний афелій), спостереження були продовжені в 1988, 1989, 1990, 1991 рр., а також в 1992 р. коли комета пройшла перигелій.

У появі в 1997 році комета минула перигелій 6 травня 1997 р. Спостереження за кометою було розпочато 2 січня 1995 року і тривали до 16 вересня 1998 року. З січня 1996 по січень 1997 року

спостереження отримувались щомісяця. В перші місяці 1997 року інтегральна зоряна величина була близькою до 9^m .

В наступній появі комета була виявлена у вересні 2002 року, хоча була слабкою — зоряна величина була $\sim 19.5^m$. Яскравість комети швидко зростала і 1 січня 2003 р. вже досягла значення 15–16 зоряної величини. Спостереження за кометою продовжувались до травня, коли інтегральний блиск досяг 14 величини і комета була втрачена в сяйві Сонця до кінця року.

Комета 81P була головною ціллю космічної місії STARDUST (NASA) 2 січня 2004 року. Stardust пролетів крізь кому над освітленою Сонцем стороною ядра на відстані лише 240 кілометрів. Апарат мав панель, яка містила матеріал під назвою аерогель, що зібрав зразки кометного пилу. Ці зразки були повернені на Землю 15 січня 2006 року.

Комета 81P/Wild 2 мала декілька зближень з планетами: 1 зближення з Землею, 1 зближення з Марсом та 1 зближення з Юпітером у XX столітті. Вона тричі зближатиметься з Землею протягом першої половини XXI століття: 5 квітня 2010 року — 0.67 а.о. від Землі; 8 лютого 2029 року — 0.92 а.о. від Землі; 5 квітня 2042 року — 0.65 а.о. від Землі. Спектри були нами отримані в період першого зближення.

2. ОБРОБКА СПЕКТРІВ КОМЕТИ 81P/WILD 2

Спектри комети 81P/Wild 2 були отримані з роздільною здатністю $R = 13000$ — ешелє спектри і $R = 1500$ — щілинні спектри в діапазонах довжин хвиль 4500–8500Å для ешелє спектри і 3800–4900Å для щілинних спектри. За допомогою спектрографа з ешелє спектри були отримані 27/28 березня 2010 року, щілинні спектри були отримані 28/29 березня та 2/3 квітня 2010 року. Щілина спектрографа мала висоту близько 11 arcsec та ширину 3 arcsec. Всі CCD спектри комети 81P/Wild 2 були оброблені за допомогою програмного забезпечення DECH95, DECH20T та MATLAB. DECH дозволяє виконувати редукцію CCD зображень і враховувати рівень bias, вплив випромінювання космічних частинок, плоскі поля і вклад нічного неба [4]. Для ідентифікації спектральних емісійних кометних ліній ми використовували каталог Cochran (2001) [1] та Brown et al. (1996) [2]. Ідентифікація емісійних ліній була проведена в спектрах, отриманих з 27/28 березня 2010 р. (для діапазону довжин хвиль 4690–5500Å). Загалом було ототожнено 281 емісію, а саме: C_2 — 103, NH_2 — 52, CN — 23, H_2O^+ — 7, суміші ліній — 4. Значна частина ліній залишилась неототоженою (95).

3. ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО КОНТИНУУМУ

Традиційно вважається, що кометний спектр складається з двох компонентів. Перший компонент — емісійні лінії атомів, молекул, іонів в кометній атмосфері. Другий — відбите від кометного пилу сонячне випромінювання. Другий компонент повинен в основних рисах повторювати сонячний спектр, оскільки оптичні якості пилу змінюються плавно з довжиною хвилі. Однак в багатьох кометах спостерігається такий факт, що фраунгоферові лінії поглинання мають меншу глибину, ніж в спектрі Сонця. Рис. 2а демонструє цей факт для комети 81P/Wild 2 в спектральній області, в якій не спостерігаються емісійні смуги. Існує декілька можливих причин такого явища:

1. Недостатня роздільна здатність приладів.

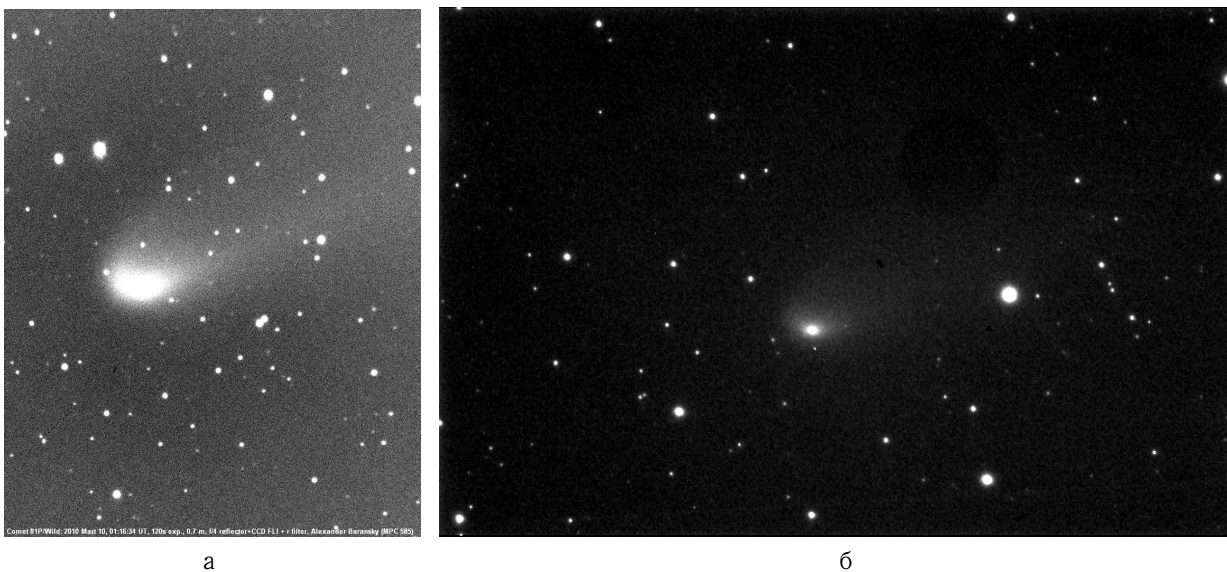


Рис. 1. Знімок комети 81P/Wild 2 отриманий: а) — 20 березня 2010 р. на спостережній станції Лісники (MPC–585); б) — 27 березня 2010 р. на спостережній станції Терскол (MPC–18)

2. Невідомі емісійні лінії, які накладаються на лінії поглинання в сонячному спектрі.
3. Розсіяння світла в самому спектральному приладі.
4. Люмінесценція кометного пилу, яка дає додатковий неперервний спектр без ліній поглинання. Ця додаткова компонента додається до чистого сонячного спектру від розсіяння на кометних пилових частинках.

Щоб коректно врахувати спектральну роздільну здатність даного спектрографа спочатку брався сонячний спектр з високою роздільною здатністю 0.02\AA [1]. З нього, з кроком і спектральною роздільною здатністю аналогічними кометному спектру за допомогою операції згортки розраховувався новий спектр Сонця. Про допустимість такого підходу свідчить те, що фраунгоферові лінії мають однакову (в межах помилок) ширину в розрахованому і кометному спектрах. Однак глибина ліній істотно менше в кометному спектрі. Це означає, що перший фактор не може пояснити спостережуваних особливостей кометного спектру. Додатковим аргументом на користь цього твердження служить той факт, що ефект спостерігається в кометних спектрах, отриманих з високою роздільною здатністю на ешелє-спектрографах.

Друга причина також не може пояснити спостережуваний ефект, оскільки він проявляється в широкій спектральній області. До того ж він спостерігається і у комет з дуже слабкою інтенсивністю емісійних ліній, наприклад у комети 81P/Wild 2.

Розсіяння світла в спектрографі не може забезпечити значне зменшення глибини фраунгоферових ліній, яке спостерігається в деяких кометах. До того ж схожий ефект спостерігається на різних спектрографах.

Виходячи з даного обговорення, автори приймають люмінесценцію кометного пилу як явище, яке може пояснити всю сукупність спостережених даних для кометного континууму. Визначення рівня люмінесцентного континууму можна виконати локально для невеликої спектральної ділянки в околиці сильних фраунгоферових ліній, які не потрапляють до області звичайних кометних емісійних смуг. Вибір сильних ліній поглинання дозволяє підвищити точність визначення внеску люмінесцентного континууму. Для вузького спектрального діапазону можна вважати коефіцієнт відбиття пилу і рівень люмінесцентного континууму постійними. Це дозволяє роздільно визначити вклади від сонячного спектра і люмінесцентного континууму відповідно до формули:

$$i_c(\lambda) = k \cdot i_s(\lambda) + i_l,$$

де $i_c(\lambda)$ — спостережуваний кометний спектр, $i_s(\lambda)$ — обчислений сонячний спектр, k — коефіцієнт, який враховує вклад люмінесцентного континууму, i_l — рівень люмінесцентного континууму.

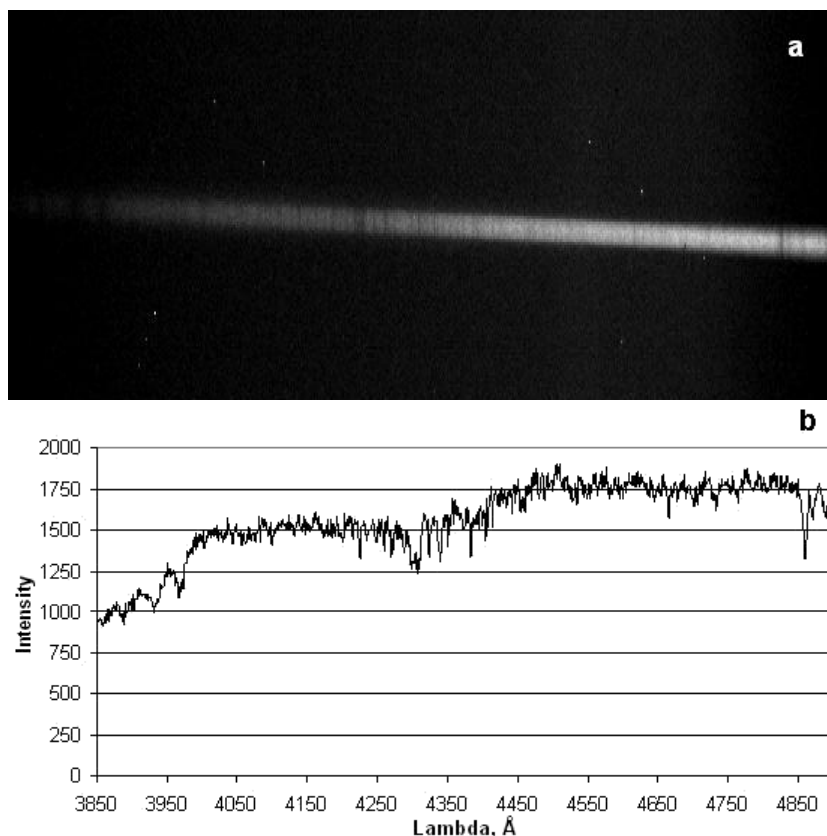


Рис. 2. Монохроматичне зображення щільового спектра комети 81P (а) та розподіл енергії в спектрі комети 81P на 2 березня 2010 року.

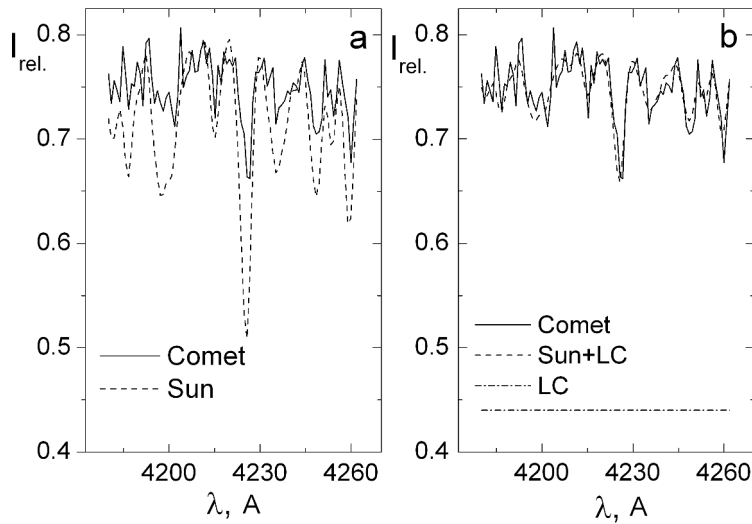


Рис. 3. **a** — представлення кометного спектра лише сонячним континуумом; **b** — представлення кометного спектра сумою сонячного і люмінесцентного континуумів

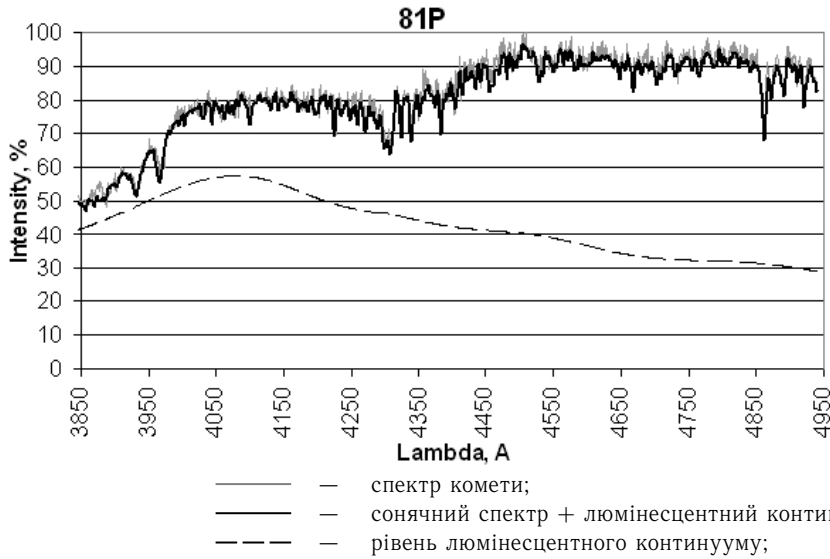


Рис. 4. Виявлення кометного люмінесцентного континууму в спектрі комети 81P, яка спостерігалась 2 березня 2010 р.

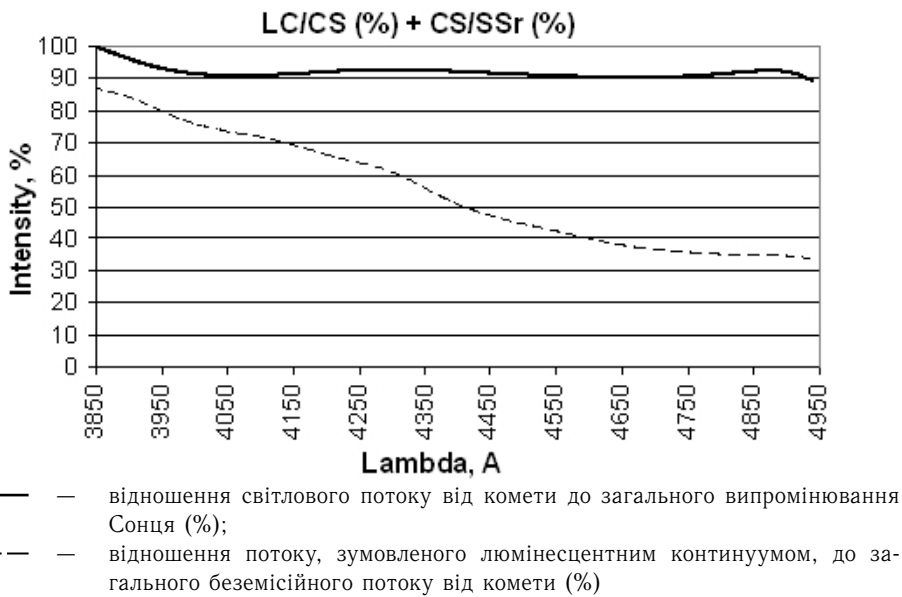


Рис. 5. Вклад люмінесцентного континууму в сонячний спектр для комети 81P/Wild 2

Рис. 3б демонструє представлення кометного континууму у вигляді суми двох складових: чистого сонячного спектра (на малюнку позначено Sun) і люмінесценції кометного пилу (LC). Він наочно демонструє, наскільки точно можна описати безперервний спектр комети у вигляді суми двох компонент.

Спектральний розподіл люмінесцентного континууму можна визначити, виконавши аналогічну процедуру для декількох спектральних ділянок на всьому діапазоні кометного спектру.

Саме така методика використовувалась для визначення рівня люмінесцентного континууму в спектрах комети 81P/Wild 2.

4. ПОШУК І ВИЯВЛЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО КОНТИНУУМУ У СПЕКТРАХ КОМЕТИ 81P

Вперше люмінесцентний континуум було виявлено Г. Назарчук в спектрі комети 1P/Halley, який виявив два основних максимуми на довжинах хвиль 395 та 510 нм [1, 2]. Вони були частиною розсіяного сонячного континууму.

Ми досліджували спектри комети 81P/Wild 2 з ціллю виявити та визначити реальний рівень континууму несонячного походження в спектральній області 3800–4900Å.

На рис. 4 і рис. 5 видно, що максимум люмінесцентного континууму в кометі 81P/Wild 2 припадає на 390 нм. На цій довжині хвилі інтенсивність континууму несонячного походження досягає 80% від загального світлового потоку. Ми вважаємо, що в спектрах комети 81P/Wild 2 виявлений реальний люмінесцентний кометний континуум пов'язаний з люмінесценцією різновиду кометної органіки, яка входить до складу кометних пилових частинок (CHON-частинок).

5. ВИСНОВКИ

На базі оптичних спектрів комети 81P/Wild 2 отриманих 27–29 березня та 2/3 квітня 2010 року було побудовано енергетичний розподіл та проведено ідентифікацію емісійних спектральних ліній в навколоядерній області комети. Також було виявлено люмінесцентний кометний континуум (несонячного походження). В діапазоні довжин хвиль ($3800\text{Å} < \lambda < 5000\text{Å}$) обчислені параметри люмінесцентного континууму та розглянуті його особливості. Максимальний вклад люмінесцентного континууму в загальний світловий потік припадає на 3900Å і складає близько 80%. Можливим органічним люмінофором в навколоядерній області комети є речовина пірен $C_{16}H_{10}$.

Подяки: Робота виконана за підтримки грантів РФФД 11-02-90440-Ukr_f_a, ДФФД F40_2-087 та ДФФД F40/264-2012.

1. Brown M.E., Bouchez A.H., Spinrad H., Jons-Krull C.M. High-resolution spectra catalogue of cometary emissions lines // A.J. — 1996. — 112(3). — P. 1197–1202.
2. Cochran A. A high spectral resolution Atlas of comet 122P/de Vico. — 2001.
3. Kurucz R.L., Furenlid I., Brault J., Testerman L. Solar flux atlas from 296 to 1300 nm // National Solar Observatory Atlas, Sunspot, New Mexico: National Solar Observatory. — 1984.
4. Shul'man L.M. Distribution of neutral matter density in the cometary atmosphere // Astrometry and Astrophysics (in Russian). — 1970. — 11. — P. 26–30.
5. Lukyanyk I.V., Churyumov K.I. Observations of Comet C/2001 A2 (LINEAR) with the Multipupil Fiber Spectrograph // Earth, Moon and Planets. — 90. — 1 (2002). — P. 33–41.
6. Churyumov K.I., Lukyanyk I.V., Afanasiev V.L., et al. Exploration of the Comet 19/P Borrelly spectra, obtained with the MPFS and Scorpio of 6-m Telescope on Aug. 2001 // Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors (Technical University Berlin. — Germany). — 2002. — P. 657–660.
7. Lukyanyk I.V., Churyumov K.I., Afanasiev V.L., et al. Observation of Spectra and Monochromatic Images of Comet C/2001 A2 (LINEAR) // Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors (Technical University Berlin. — Germany). — 2002. — P. 717–720.
8. Picazzio E., de Almeida A., Churyumov K.I., Andrievskii S.M., Lukyanyk I.V. The Optical Spectroscopy and Near Infrared Observations of Comet C/2000 WM1 (Linear) in December, 2001 in Chile and Brazil // Earth, Moon and Planets. — 2002. — 90. — P. 23–32.

Надійшла до редакції 7.09.2012