

УДК 523.64–82

## Люмінесцентний континуум та пробіги батьківських та дочірніх молекул в комі комети C/2009 K5 (McNaught) за спектральними спостереженнями в березні–квітні 2010 року

К.І. Чурюмов, В.О. Пономаренко, В.В. Клещонюк, О.Р. Баранський, І.В. Лук'яник

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

*З 27 березня по 2 квітня 2010 року за допомогою 2-м телескопа-рефлектора Zeiss та спектрографа з ешелю були отримані шість оптичних спектрів комети C/2009 K5 (McNaught) 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 1.5 а.о. і геоцентричній відстані 1.4 а.о., мала інтегральну зоряну величину  $T \approx 11^m$ . У роботі представлений розподіл енергії в спектрах комети C/2009 K5 та енергетичний розподіл основних кометних емісій по щілині спектрографа. Підраховані деякі фізичні параметри нейтральної кометної атмосфери (за моделями Шульмана та Хазера). Проведена детальна ідентифікація емісійних кометних ліній. В спектрах комети знайдений люмінесцентний континуум та визначено його фізичні параметри.*

*ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ КОНТИНУУМ И ПРОБЕГИ РОДИТЕЛЬСКИХ И ДОЧЕРНИХ МОЛЕКУЛ В КОМЕ КОМЕТЫ C/2009 K5 (MCNAUGHT) ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В МАРТЕ–АПРЕЛЕ 2010 ГОДА, Чурюмов К.И., Пономаренко В.А., Клещонюк В.В., Баранский А.Р., Лукьяник И.В. — С 27 марта по 2 апреля 2010 года с помощью 2-м телескопа-рефлектора Zeiss и спектрографа с эшелю были получены шесть оптических спектров кометы C/2009 K5 (McNaught) 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 1.5 а.е. и геоцентрическом расстоянии 1.4 а.е., имела интегральную звездную величину  $T \approx 11^m$ . В работе представлено распределение энергии в спектрах кометы C/2009 K5 и энергетическое распределение основных кометных эмиссий по щели спектрографа. Посчитаны некоторые физические параметры нейтральной кометной атмосферы (по моделям Шульмана та Хазера). Проведена детальная идентификация эмиссионных кометных линий. В спектрах кометы найден люминесцентный континуум и определены его физические параметры.*

*FLUORESCENT CONTINUUM AND CHARACTERISTIC SCALES OF PARENT AND DAUGHTER MOLECULES IN THE COMA OF COMET C/2009 K5 (MCNAUGHT) FOR SPECTRAL OBSERVATIONS IN MARCH–APRIL 2010, by Churyumov K.I., Ponomarenko V.O., Kleshchonok V.V., Baransky O.R., Lukyanuk I.V. — Six middle-resolution optical spectra of comet C/2009 K5 (McNaught) were obtained from 27 March to 2 April 2010 with the help of the 2-m Zeiss reflector and echelle-spectrograph of the High-mountain astronomical station "Terskol" of Institute of Astronomy of Russian Academy of Sciences and Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine. The comet was at heliocentric distance 1.5 A.U. and geocentric one 1.4 A.U. and had the integral magnitude equal to  $T \approx 11^m$ . We present the energy distribution in the spectra of comet C/2009 K5 and the energy distribution of comet emissions along the slit of the spectrograph. Some physical parameters of the neutral coma of comet were calculated with the help of Haser's models. The detailed identification of the spectral emission lines in these spectra were obtained. Presence of luminescent continuum in the spectra of comet C/2009 K5 is discussed and some physical parameters of luminescent continuum were calculated.*

**Ключевые слова:** комета C/2009 K5 (McNaught); спектр; эмиссионные линии; люминесцентный континуум.

**Key words:** comet C/2009 K5 (McNaught); spectrum; emission lines; luminescent continuum.

### 1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОМЕТИ C/2009 K5 (MCNAUGHT)

Комета C/2009 K5 (McNaught) була відкрита 27 травня 2009 року Робертом Макнотом (відкривачем 73 комет) за допомогою 0.5 м телескопа Шмідта. На момент відкриття комета мала зоряну величину  $T \approx 18.5^m$ . Ексцентриситет кометної орбіти виявився  $> 1$ , а нахил до площини екліптики  $103.9^\circ$ . Свій перигелій комета пройшла 18 квітня 2010 року на відстані 1.36 а.о. від Сонця досягнувши інтегральної зоряної величини  $10.6^m$ . Найвдаліший період для спостережень в північній півкулі припав на березень–квітень 2010 року. Саме в цей час нами і були отримані оригінальні спостереження об'єкту дослідження.

Спостереження комети C/2009 K5 (McNaught) були проведені з 27 березня по 2 квітня 2010 року на високогірній спостережній станції "Терскол" Інституту астрономії РАН та Головної астрономічної обсерваторії НАН України за допомогою 2-м телескопа-рефлектора Zeiss та спектрографа. Щілина спектрографа мала висоту 12 arcsec та ширину 3 arcsec. Об'єкт спостереження знаходився на геліоцентричній відстані  $r = 1,5$  а.о., геоцентричній відстані  $\Delta = 1,4$  а.о., мав інтегральну зоряну величину  $T \approx 11^m$ , кут

елонгації  $S-O-T=75^\circ$ , фазовий кут  $S-T-O=40^\circ$ , швидкість відносно Сонця  $-7,4$  км/с, відносно Землі  $-21,5$  км/с. З 27/28 березня 2010 року були отримані 2 ешелє-спектра з експозицією 45 хв. і роздільною здатністю  $R=13000$  ( $\approx 0,1$  arcsec/pixel CCD). З 28/29 березня та з 1/2 квітня 2010 року були отримані 4 щільових спектра з експозиціями 60 та 45 хв. відповідно і роздільною здатністю  $R=1500$  ( $\approx 1$  arcsec/pixel CCD).

## 2. ОБРОБКА СПЕКТРІВ КОМЕТИ C/2009 K5 (MCNAUGHT)

Всі CCD спектри комети C/2009 K5 (McNaught) 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 [1].

## 3. ЛЮМІНЕСЦЕНТНИЙ КОНТИНУУМ У СПЕКТРАХ КОМЕТИ C/2009 K5

При дослідженні спектрів комети C/2009 K5 (McNaught) було виявлено континуум несонячного походження в спектральній області  $3850-4950 \text{ \AA}$ . Виділення люмінесцентного континууму проводилося за методикою аналогічною, яка була застосована для комет 81P/Вільда 2 та 103P/Хартлі [5–6].

На рис. 4 і рис. 5 видно, що максимум люмінесцентного континууму в кометі C/2009 K5 (McNaught) припадає на 395 нм. На цій довжині хвилі інтенсивність континууму несонячного походження досягає 80% від загального світлового потоку. Ми вважаємо, що в спектрах комети McNaught виявлений реальний люмінесцентний континуум, пов'язаний з люмінесценцією різновиду кометної органіки, яка входить до складу кометних пилових частинок (CHON-частинок) [2–4].

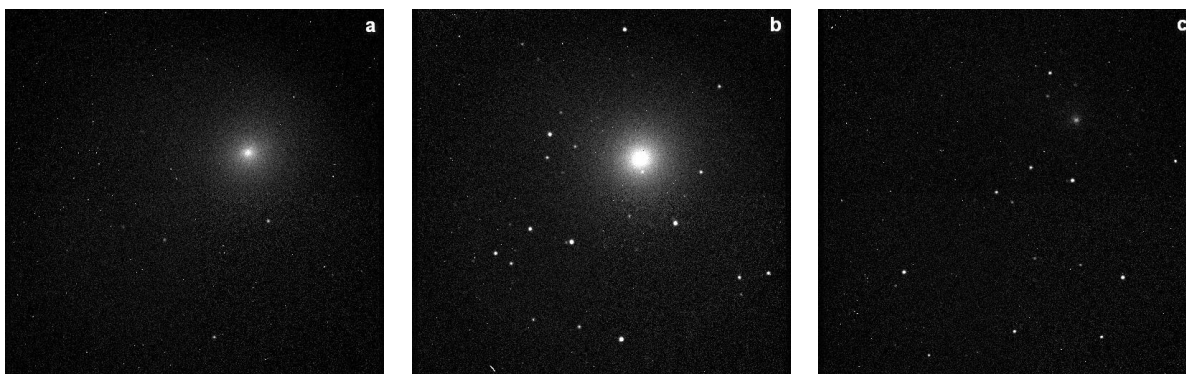


Рис. 1. Знімки комети C/2009 K5 (McNaught), отримані на спостережній станції “Терскол” 2.06.2010 р. за допомогою телескопа Zeiss-600: а) вузькосмуговий фільтр C<sub>2</sub>; б) вузькосмуговий фільтр C<sub>3</sub>; в) вузькосмуговий фільтр CN

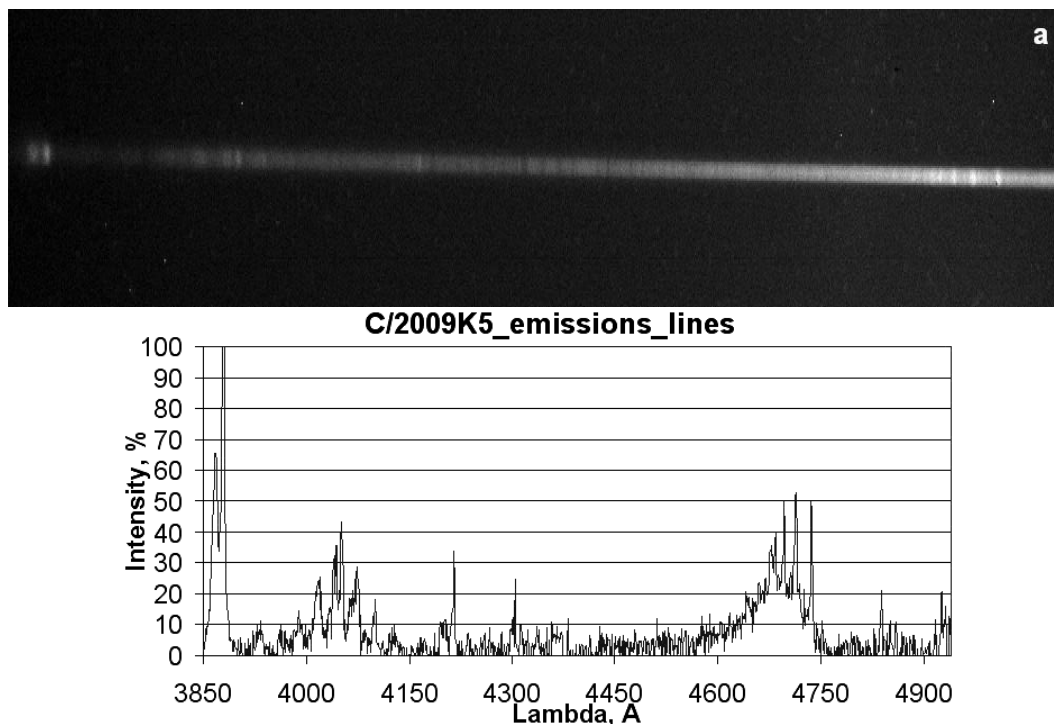


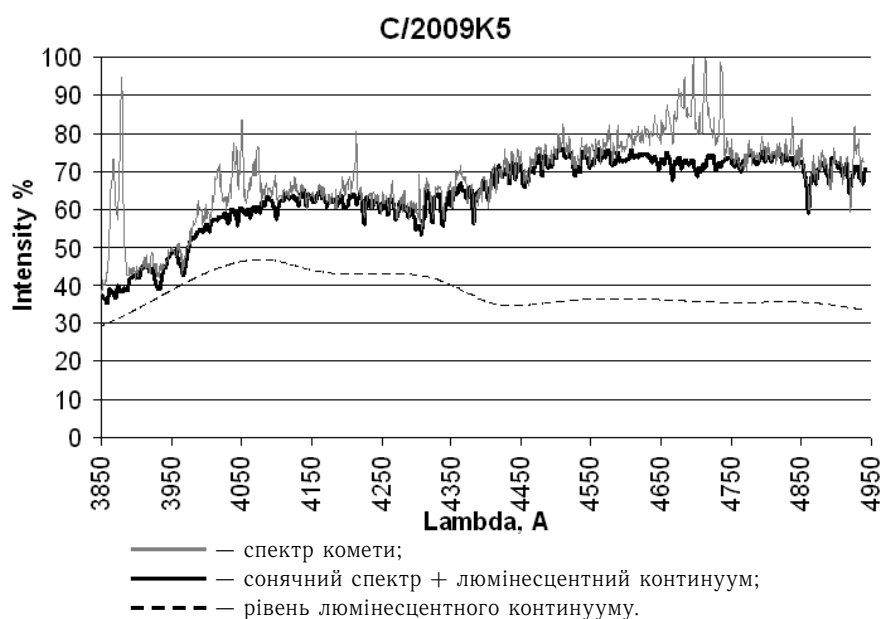
Рис. 2. а — зображення щільового спектра комети C/2009 K5 (McNaught); б — чистий емісійний спектр комети C/2009 K5 з  $(\lambda/\Delta\lambda) = 1500$  на 29 березня 2010 року

#### 4. РОЗПОДІЛ ЕНЕРГІЇ ВЗДОВЖ ЩІЛИНИ СПЕКТРОГРАФА

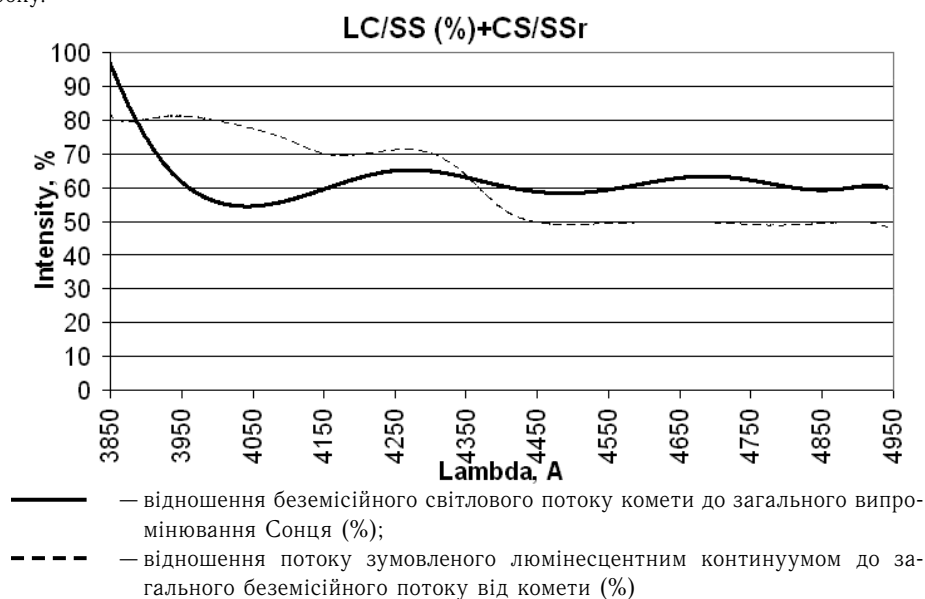
Для комети C/2009 K5 нами було здійснено побудову розподілу поверхневої яскравості вздовж щілини спектрографа для основних емісійних ліній. Для врахування апаратної складової і визначення особливостей розподілу енергії додатково було виконано побудову загального беземісійного світлового потоку від комети в аналогічних спектральних областях. Дані про беземісійний світловий потік були отримані при визначенні люмінесцентного континууму. В процесі визначення рівня люмінесценції загальний світловий потік від комети McNaught було прийнято як сума трьох можливих складових: кометних емісій ( $I_e$ ), сонячного континууму ( $I_s$ ), люмінесцентного континууму ( $I_l$ ). Загальний беземісійний світловий потік отримувався як сума сонячного і люмінесцентного континуумів. Більш детальна інформація по визначенню люмінесцентного континууму була висвітлена вище.

Загальну асиметрію в різних типах графіків а) і б) можна легко пояснити сонячним вітром. Він зносить легкі частинки кометних емісій в праву частину щілини швидше, ніж частинки пилу, від яких відбивається випромінювання Сонця.

На основі побудованих профілів яскравості вздовж щілини було визначено пробіг батьківських і дочірніх молекул CN, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> (за моделлю Хазера). Підрахунки пробігу представлені у табл. 1. Інші фізичні параметри кометної атмосфери визначити поки що не вдалося. Це пов'язано з невеликою висотою щілини спектрографа (12 arcsec= 11 тис. км.).



**Рис. 3.** Виявлення кометного люмінесцентного континууму в спектрі комети C/2009 K5, який спостерігався 28/29 березня 2010 року.



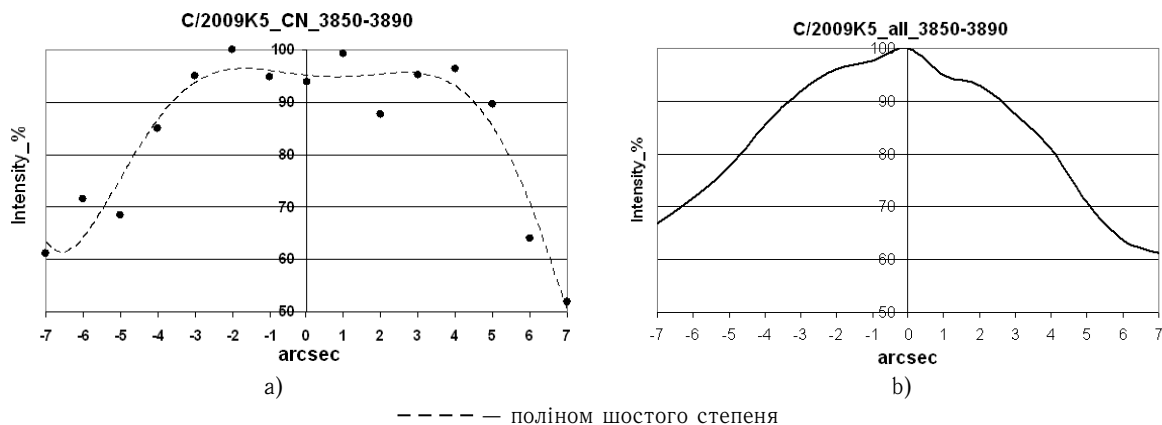
**Рис. 4.** Вклад люмінесцентного континууму в сонячний спектр для комети C/2009 K5 (29.03.2010 р.).

**Таблиця 1.** Пробіг дочірніх і батьківських молекул згідно за моделлю Хазера

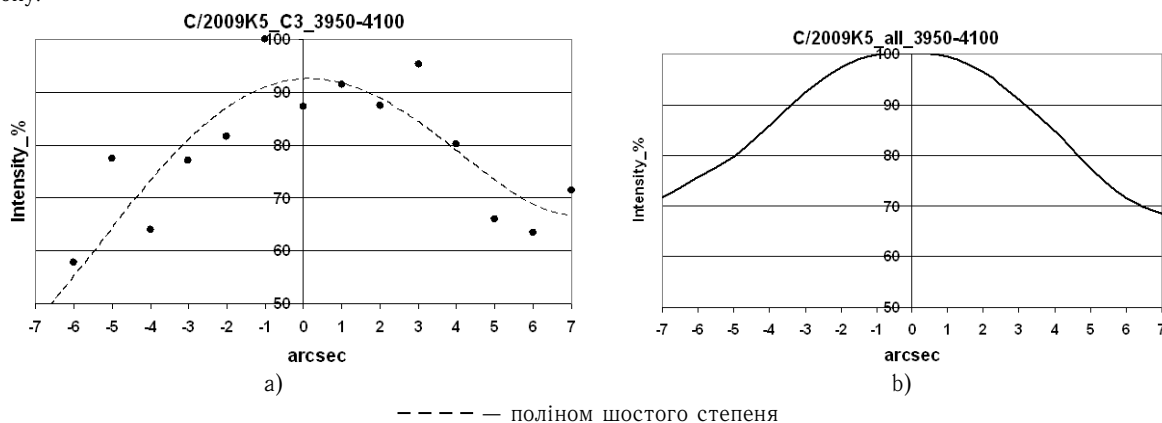
| Молекули    | C <sub>2</sub> (4600–4700)                           | C <sub>3</sub> (3950–4100)                            | CN (3850–3890)  |
|-------------|--|---|---|
| Батьківські | $L_H = 2,2 \cdot 10^4$ км<br>$L = 3,1 \cdot 10^3$ км | $L_H = 2,8 \cdot 10^3$ км<br>$L = 5,8 \cdot 10^3$ км  | $L_H = 1,3 \cdot 10^4$ км<br>$L = 1,4 \cdot 10^5$ км  |
| Дочірні     | $L_H = 6,6 \cdot 10^4$ км<br>$L = 1,1 \cdot 10^4$ км | $L_H = 1,45 \cdot 10^5$ км<br>$L = 6,2 \cdot 10^4$ км | $L_H = 2,1 \cdot 10^5$ км<br>$L = 5,84 \cdot 10^5$ км |

$L_H$  — очікуваний пробіг батьківських і дочірніх молекул згідно моделі Хазера;

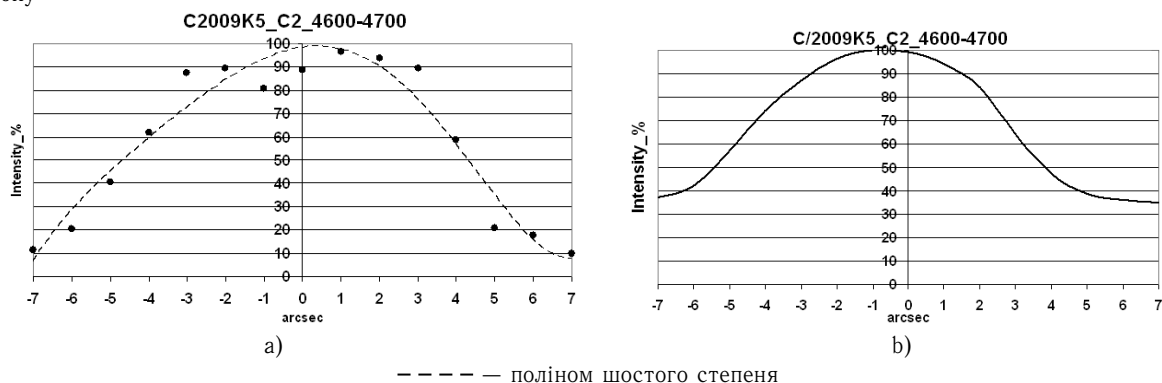
$L$  — пробіг батьківських і дочірніх молекул розраховані для комети C/2009 K5 за моделлю Хазера.



**Рис. 5.** Розподіл поверхньої яскравості вздовж щілини спектрографа для комети C/2009 K5 на спектральному діапазоні 3850–3890Å (29.03.2010 р.); а) — для емісійної полоси CN; б) — для загального беземісійного світлового потоку.



**Рис. 6.** Розподіл поверхньої яскравості вздовж щілини спектрографа для комети C/2009 K5 на спектральному діапазоні 3950–4100Å (29.03.2010 р.); а) — для емісійної полоси C<sub>3</sub>; б) — для загального беземісійного світлового потоку



**Рис. 7.** Розподіл поверхньої яскравості вздовж щілини спектрографа для комети C/2009 K5 на спектральному діапазоні 4600–4700Å (29.03.2010 р.); а) — для емісійної полоси C<sub>2</sub>; б) — для загального беземісійного світлового потоку.

## 5. ВИСНОВКИ

При обробці оптичних спектрів комети C/2009 K5 (McNaught), отриманих з 27 березня по 2 квітня 2010 року, було побудовано енергетичний розподіл та проведено детальну ідентифікацію емісійних спектральних ліній в насколядерній області комети. Також було виявлено люмінесцентний кометний континуум (несонячного походження). В діапазоні довжин хвиль ( $3850\text{\AA} < \lambda < 4950\text{\AA}$ ) обчислені параметри люмінесцентного континууму та розглянуті його особливості. Максимальний вклад люмінесценції в загальний світловий потік припадає на  $3930\text{\AA}$  і складає близько 40%. Цей результат узгоджується з максимумом в континуумі, виявленому Г.Назарчук у спектрі комети 1P/Halley, і останніми нашими дослідженнями двох інших комет (81P/Wild 2 та 103P/Hartley 2). Найвірогіднішим претендентом на роль люмінофора з максимумом  $3930\text{\AA}$  є речовина пірен  $C_{16}H_{10}$ . Також було побудовано розподіл енергії вздовж щілини спектрографа для основних кометних емісій і розраховано пробіг батьківських і дочірніх молекул (за моделлю Хазера).

**Подяки:** Робота виконана за підтримки грантів РФФД 11-02-90440-Ukr\_f\_a, ДФФД F40\_2-087 та ДФФД F40/264-2012.

1. *Shul'man L.M.* Distribution of neutral matter density in the cometary atmosphere // *Astrometry and Astrophysics* (in Russian). — 1970. — **11**. — P. 26–30.
2. *Churyumov K.I., Lubyanyk 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.
3. *Lubyanyk 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.
4. *Picazzio E., de Almeida A., Churyumov K.I., Andrievskii S.M., Lubyanyk 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. 23–32.7.
5. *Чурюмов К.І., Пономаренко В.О., Клецонок В.В., Мозгова А.М., Кузнєцов М.А.* Оптична спектроскопія комети 103P/Hartley 2 в жовтні 2010 року // *Вісник Астрон. школи*. — 2012. — **8**, № 2. — С. 91–95.
6. *Чурюмов К.І., Пономаренко В.О., Клецонок В.В., Баранський О.Р., Коваленко Н.С.* Дослідження спектрів комети 81P/Wild 2 отриманих в березні–квітні 2010 року // *Вісник Астрон. школи*. — 2012. — **8**, № 2. — С. 75–79.

Надійшла до редакції 19.10.2012