

# СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМЕТ, ОБОГАЩЕННЫХ ЛЬДАМИ СО И N<sub>2</sub>, НА 6-м ТЕЛЕСКОПЕ БТА

П. П. Корсун<sup>1</sup>, В. Л. Афанасьев<sup>2</sup>, А. В. Иванова<sup>1</sup>

© 2009

<sup>1</sup> Главная астрономическая обсерватория НАН Украины  
ул. Академика Заболотного 27, 03680 ГСП, Киев  
e-mail: korsun@mao.kiev.ua

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия 369167  
e-mail: vafan@sao.ru

---

Представлены результаты спектральных наблюдений комет 29P/Schwassmann–Wachmann 1 и C/2002 VQ94 (LINEAR), выполненных в рамках долгосрочной программы спектральных и фотометрических исследований комет, проявляющих значительную активность на больших гелиоцентрических расстояниях. На фоне непрерывного спектра отождествлен ряд молекулярных эмиссий. Присутствие ионов CO<sup>+</sup> и N<sub>2</sub><sup>+</sup> свидетельствует, что эти кометы сформировались при температурах < 27 К на наиболее ранних стадиях зарождения Солнечной системы или на ее окраинах. Регистрация эмиссий ионов в спектрах кометы VQ94 на гелиоцентрическом расстоянии 8.36 а. е. является рекордной для тел Солнечной системы.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в технологии разработки современных светочувствительных приемников и их применение в астрономических наблюдениях привели к открытию пояса кометоподобных тел за орбитой Нептуна и к значительному расширению списка комет, проявляющих значительную активность на больших гелиоцентрических расстояниях.

Общепризнано, что значительную долю вещества ядра типичной кометы составляет водяной лед. Именно в результате его сублимации комета формируется как явление. На расстояниях от Солнца, больших 4 а. е., скорость сублимации водяного льда, даже загрязненного, настолько незначительна, что не может привести к формированию хвоста и/или комы кометы. Тем не менее, кометы с развитыми пылевыми хвостами и мощными комами все же наблюдаются вне зоны сублимации водяного льда.

Начиная с 2006 года мы проводим регулярные наблюдения этих комет в рамках программы фотометрических и спектральных исследований удаленных комет. Программа выполняется на 6-м телескопе БТА с использованием многофункционального редуктора SCORPIO, установленного в первичном фокусе телескопа [1]. Спектральные данные получены для 17 удаленных комет. Их первичная обработка свидетельствует, что у большинства наблюдаемых комет зарегистрирован лишь непрерывный спектр без эмиссионных деталей. Следовательно, в комах комет газы с низким потенциалом возбуждения или же отсутствуют, или же их обилие ниже порога регистрации; газ, ответственный за формирование ком и хвостов, не имеет спектральных линий в оптической области спектра.

Спектры двух комет все же оказались богатыми на молекулярные эмиссии. Одна из них, 29P/Schwassmann–Wachmann 1 (далее 29P), – периодическая и открыта еще в 1925 году. Комета движется по почти круговой орбите с эксцентриситетом 0.044 и перигелийным расстоянием 5.72 а. е., период ее вращения составляет 14.9 года. Характерной особенностью кометы есть нерегулярная вспышечная активность на протяжении всего периода ее наблюдений. Вторая, C/2002 VQ94 (LINEAR) (далее VQ94), является долгопериодической с периодом вращения, равным 3110 лет, и перигелийным расстоянием 6.8 а. е. Комета открыта в ноябре 2002 года и до сих пор остается активной. Обе кометы, обладая развитыми комами, не имеют хвостов. Морфология их ком определяется джетами, которые сформировались в результате истечения вещества из локальных активных областей, расположенных на поверхности ядер комет.

## 29P/SCHWASSMANN–WACHMANN 1

Первые спектральные наблюдения кометы 29P были выполнены еще в 1941 году [11]. На спектрограммах с низким спектральным разрешением был зарегистрирован непрерывный спектр без каких-либо следов

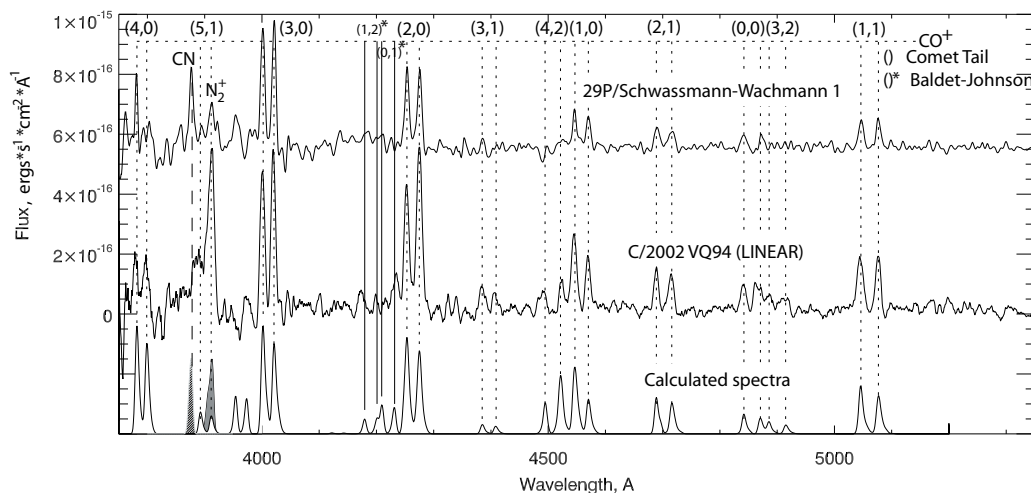


Рис. 1. Молекулярные эмиссии в спектрах комет 29P (15 декабря 2006 г.) и VQ94 (10 апреля 2007 г.) [10]. Непрерывный спектр вычтен. Внизу приведены теоретические спектры газов, обнаруженных в комах комет

молекулярных эмиссий. В результате более современных наблюдений кометы, проведенных в конце XX века, на фоне непрерывного спектра был отождествлен ряд молекулярных полос  $\text{CO}^+$  и полоса CN (0–0) [3–6, 8]. Обнаружение этих же эмиссий на спектрограммах, полученных в 2003–2004 гг., свидетельствует о долговременности эффекта свечения этих газов в коме кометы [7].

Мы наблюдали комету 29P 15 декабря 2006 года [10]. Комета находилась на гелиоцентрическом расстоянии 5.86 а.е., а ее звездная величина была  $13.3^m$ . Спектры получены в спектральном диапазоне 3600–5300 Å со спектральным разрешением 5 Å. Кроме континуума, обусловленного рассеянием солнечного света на пыли, мы выделили 10 колебательных эмиссионных полос  $\text{CO}^+$ , полосу CN (0–0) и, впервые, полосу  $\text{N}_2^+$ . Результирующий молекулярный спектр кометы 29P после вычитания непрерывного спектра представлен на рис. 1. Подтверждением наших отождествлений служат помещенные внизу рисунка синтетические спектры упомянутых выше молекул.

### C/2002 VQ94 (LINEAR)

Спектральные наблюдения кометы VQ94 были выполнены, когда ее гелиоцентрическое расстояние изменялось от 6.8 а.е. до 9.86 а.е., а интегральная звездная величина составляла  $16.5^m$ – $17.5^m$ . Спектрограммы покрывали диапазон 3600–5300 Å со спектральным разрешением 5 Å. Результатом первых наблюдений, выполненных 6 марта 2006 года ( $r = 6.8$  а.е.), стало отождествление эмиссий молекул CN,  $\text{C}_3$ ,  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$  [9]. Дальнейший спектральный мониторинг показал, что на расстоянии кометы от Солнца 7.33 а.е. (10 апреля 2007 г.) в спектре кометы исчезли эмиссии CN и  $\text{C}_3$ , а эмиссии ионов остались довольно сильными [10]. Мы отождествили 13 колебательных полос  $\text{CO}^+$ , принадлежащих как системе Кометных хвостов, так и системе Бальдета–Джонсона (рис. 1). В марте 2008 г., когда комета была на гелиоцентрическом расстоянии 8.36 а.е., эмиссии  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$  еще уверенно регистрировались (рис. 2, a), а в марте 2009 г. ( $r = 9.86$  а.е.) наблюдался уже только непрерывный спектр (рис. 2, b).

### ПЕКУЛЯРНОСТЬ КОМЕТ P29 И VQ94

Обе кометы обладают рядом свойств, которые выделяют их из многообразия удаленных активных комет. Морфология их ком, в основном, определяется джетовыми образованиями в результате истечения вещества из локальных активных зон, расположенных на поверхностях ядер. При этом, несмотря на высокую степень активности, хвосты у них так и не образовались. Только в спектрах этих комет обнаружены эмиссии ионов  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$ , а это приводит к заключению о наличии значительных количеств льдов CO и  $\text{N}_2$  в ядрах комет. Лабораторные эксперименты показывают, что замерзание этих веществ на пылевых зародышах и/или захват молекул этих веществ льдами воды возможны при температурах ниже 27 К [2]. Следовательно, кометы P29 и VQ94 сформировались или на окраинах Солнечной системы, или на наиболее ранних стадиях формирования Солнечной системы.

Регистрация ионов  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$  также является загадкой, поскольку фотоионизация газов CO и  $\text{N}_2$  на расстояниях от Солнца, где наблюдались исследуемые кометы, не может дать объяснение этому

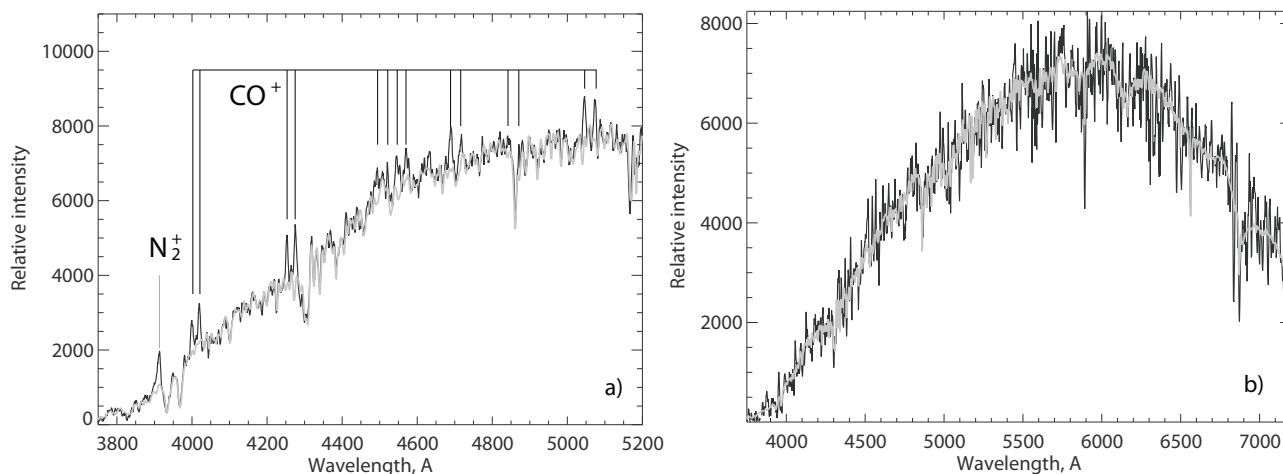


Рис. 2. Спектр кометы VQ94 от 13 марта 2008 года ( $r=8.36$  а.е.). Отождествлены эмиссии  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$  (a). Спектр кометы VQ94 от 31 марта 2009 года ( $r=9.86$  а.е.). Молекулярные эмиссии отсутствуют (b). (Серая линия соответствует уровню непрерывного спектра)

наблюдательному факту. Ионы  $\text{CO}^+$  и  $\text{N}_2^+$  в спектрах кометы VQ94 были зарегистрированы нами на рекордно больших расстояниях от Солнца (8.36 а.е.). Ни в каком другом объекте Солнечной системы ионы на подобных расстояниях не наблюдались.

Высказываются сомнения в том, что отождествленные эмиссии ионов  $\text{N}_2^+$  принадлежат комете, а не атмосфере Земли. Надежность наших выводов детально была проанализирована в наших предыдущих публикациях [10]. Суть аргументации заключается в том, что наши наблюдения проводились в пределах астрономической ночи, кометы наблюдались на малых зенитных расстояниях, а в спектрах ночного неба, которые регистрировались одновременно со спектрами кометы, не были обнаружены эмиссии, характерные для полярных сияний.

- [1] Afanasiev V. L., Moiseev A. V. The SCORPIO universal focal reducer of the 6-m telescope // *Astron. Lett.* – 2005. – **31**. – P. 194–204.
- [2] Bar-Nun A., Notesco G., Owen T. Trapping of  $\text{N}_2$ , CO and Ar in amorphous ice // *Icarus*. – 2007. – **190**. – P. 655–659.
- [3] Cochran A. L., Barker E. S., Cochran W. D. Spectrophotometric observations of 29P/Schwassmann–Wachmann 1 during outburst // *Astron. J.* – 1980. – **85**. – P. 474–477.
- [4] Cochran A. L., Cochran W. D. The first detection of CN and the distribution of  $\text{CO}^+$  gas in the coma of Comet P/Schwassmann–Wachmann 1 // *Icarus*. – 1991. – **90**. – P. 172–175.
- [5] Cochran A. L., Cochran W. D., Barker E. S. Spectrophotometry of Comet Schwassmann–Wachmann 1. II. Its color and  $\text{CO}^+$  emission // *Astrophys. J.* – 1982. – **254**. – P. 816–822.
- [6] Cochran A. L., Cochran W. D., Barker E. S., Storrs A. D. The development of the  $\text{CO}^+$  coma of Comet P/Schwassmann–Wachmann 1 // *Icarus*. – 1991. – **92**. – P. 179–183.
- [7] Cook J. C., Desch S. J., Wyckoff S. Visible and near infrared spectra of Comet 29P/Schwassmann–Wachmann 1 // *Bull. Amer. Astron. Soc.* – 2005. – **37**. – P. 645.
- [8] Larson S. M.  $\text{CO}^+$  in Comet Schwassmann–Wachmann 1 near minimum brightness // *Astrophys. J.* – 1980. – **238**. – P. L47–L48.
- [9] Korsun P. P., Ivanova O. V., Afanasiev V. L. Cometary activity of distant object C/2002 VQ94 (LINEAR) // *Astron. and Astrophys.* – 2006. – **459**. – P. 977–980.
- [10] Korsun P. P., Ivanova O. V., Afanasiev V. L. C/2002 VQ94 (LINEAR) and 29P/Schwassmann–Wachmann 1 –  $\text{CO}^+$  and  $\text{N}_2^+$  rich comets // *Icarus*. – 2008. – **198**, N 2. – P. 465–471.
- [11] Mayall N. U. Note on the spectrum of Comet Schwassmann–Wachmann 1 (1925b) // *Publs Astron. Soc. Pacif.* – 1941. – **53**. – P. 340–341.