

Observations of comet C/2011 L4 (PanSTARRS) in OH, H₂O, CH₃OH, and NH₃ lines

Volvach A.E.¹, Berezhnoy A.A.², Volvach L.N.¹, Kovalenko A.V.³,
Sobolev A.M.⁴, Tolmachev A.M.³

¹ Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory,
Yalta, Crimea

² Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia

³ Puschino Radio Astronomical Observatory of P.N. Lebedev Physical Institute,
Puschino, Moscow region, Russia

⁴ Ural Federal University, 51 Lenin Str., Ekaterinburg 620000, Russia

Abstract: Observations of comet C/2011 L4 (PANSTARRS) performed at RT-22 CrAO during March 7-12, 2003 are presented. This comet was observed at OH lines at $\lambda=18$ cm, at NH₃ lines (1,1), (2, 2), and (3, 3) at $\lambda = 1.26$ cm, and at H₂O line at $\lambda=1.35$ cm. NH₃ gas production rate was estimated as 5×10^{29} molecules s⁻¹, while $T_{\text{rot}} = 70$ K. H₂O line at $\lambda = 1.35$ cm was not detected. Comet C/2011 L4 PANSTARRS was observed also at RT-22 PRAO FIAN at CH₃OH line at $\lambda = 8.29$ мм on March 13-17, 19, and 21, 2013. Upper limit of the flux of CH₃OH line was estimated as 2 Jy, corresponding to upper limit of CH₃OH gas production rate equal to 2×10^{31} molecules s⁻¹. This value exceeds expected CH₃OH gas production rate on 2-3 orders of magnitude.

Keywords: comet, radio observations, molecules, gas production rate.

Наблюдения кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) в линиях OH, H₂O, CH₃OH и NH₃

Вольвач А.Е.¹, Бережной А.А.², Вольвач Л.Н.¹, Коваленко А.В.³,
Соболев А.М.⁴, Толмачев А.М.³

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики, Крымская Астрофизическая
Обсерватория, Ялта, Крым

² Государственный Астрономический Институт им. Штернберга, МГУ, Москва,
Россия

³ Пуцунская Радиоастрономическая Обсерватория АКЦ ФИАН, Пуцино, Россия

⁴ Уральский Федеральный Университет имени Б.Н. Ельцина, ул. Ленина, 51,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Представлены результаты наблюдений кометы C/2011 L4 (PANSTARRS), проведённых на радиотелескопе RT-22 лаборатории радиоастро-

номии КрАО 7–12 марта 2013 года. Комета наблюдалась в линиях ОН на $\lambda=18$ см, в линиях NH_3 (1,1), (2, 2) и (3, 3) на $\lambda = 1.26$ см и в линии H_2O на $\lambda = 1.35$ см. Газопродуктивность кометы по NH_3 оценена как 5×10^{29} молекул сек^{-1} , причем $T_{\text{rot}} = 70$ К. Линия H_2O на $\lambda = 1.35$ см не была обнаружена. Комета C/2011 L4 PANSTARRS наблюдалась также на РТ-22 ПРАО ФИАН в линии CH_3OH на $\lambda = 8.29$ мм 13-17, 19 и 21 марта 2013 г. Верхний предел интенсивности линии CH_3OH оценен на уровне 2 Янских. Это значение соответствует верхнему пределу газопродуктивности кометы по CH_3OH на уровне 2×10^{31} молекул сек^{-1} , что превышает ожидаемый уровень газопродуктивности на 2-3 порядка.

Ключевые слова: комета, радио наблюдения, молекулы, газопродуктивность.

1. Введение

Молекулярный состав комет сложен и меняется с изменением их расстояния от Солнца. В оптических спектрах кометных ком найдены полосы молекул CN , C_2 , OH , NH , CH ; в кометных хвостах наблюдаются также молекулярные ионы CO^+ , N_2^+ , CO_2^+ . Радионаблюдения комет в непрерывном спектре (а также радиолокации комет) дают информацию в первую очередь о внутренней коме, в то время, как спектральные наблюдения молекулярных радиолиний – о химическом составе внешней комы.

Целью данной работы являлась оценка газопродуктивности кометы C/2011 L4 PANSTARRS по воде, аммиаку и метанолу на основании анализа наблюдений этой кометы в спектральных радиолиниях соответствующих молекул.

2. Комета C/2011 L4 PanSTARRS

Комета C/2011 L4 PanSTARRS была открыта 6 июня 2011 года с помощью телескопа системы PanSTARRS как объект 19^m [1]. 5 марта 2013 года комета прошла на расстоянии 1,09 а.е. от Земли. 10 марта 2013 года наблюдалось прохождение кометой перигелия, и ее наибольшая яркость оценивалась в 0,5^m.

Комета C/2011 L4 PanSTARRS наблюдалась в период 15 февраля - 10 марта 2013 года с помощью 305-м радиотелескопа Аресибо и 100-м радиотелескопа в Грин Бэнк на длине волны 18 см в линиях ОН 1667 и 1665 МГц [2]. ОН кома этой кометы была сильно переменной на коротких временных интервалах, причем скорость истечения ОН была, как правило, больше 1 км/с [2].

Комета наблюдалась также в период 2012-2013 гг. с помощью Solar Wind Anisotropies (SWAN) телескопа на борту космической обсерватории Solar and Heliosphere Observatory (SOHO). Максимальная газопроизводительность молекул воды составила $\sim 1 \times 10^{30}$ молекул сек⁻¹ [3].

3. Приемная аппаратура

Радиотелескоп РТ-22 КрАО позволяет проводить радиоастрономические наблюдения в широком диапазоне волн, от дециметровых до миллиметровых, причём, как в непрерывном спектре, так и в линиях. В лаборатории радиоастрономии КрАО с помощью РТ-22 в течение многих лет проводятся работы по исследованию молекулярных линий в кометах. В линии молекулы OH на длине волны 18 см проведены исследования и определена газопроизводительность молекул для комет: 9P/Tempel 1, Lulin C/2007 N3, C/2009 R1 (МакНота), 17P/Холмса [4, 5].

Радиотелескоп РТ-22 имеет полноповоротную азимутальную установку, на которой смонтировано параболическое зеркало диаметром 22 м и фокусным расстоянием 9.525 м. Вторичное зеркало кассегреновского типа имеет диаметр 1,5 м. При работе с ним эффективное фокальное расстояние увеличивается до 134 м, что делает менее критичным установки во вторичном фокусе элементов приемной аппаратуры.

Приемная система, работающая в диапазоне частот 18-26 ГГц, устанавливалась во вторичном фокусе РТ-22. Перестраиваемые гетеродины, синхронизируемые высокостабильной частотой 5 МГц от водородного стандарта частоты VCH-1005, обеспечивали преобразование входных частот приема в промежуточную частоту 160 МГц с полосой ± 16 МГц или ± 4 МГц. Для проведения регистрации спектров источников использовалась система регистрации Марк-5В+ и Фурье спектроанализатор параллельного типа [6].

Радиотелескоп РТ-22 в Пушино близок по своим характеристикам к радиотелескопу РТ-22 КрАО и оснащен модуляционным приемником 8-мм диапазона с малошумящим усилителем (МШУ), работающим в микрокриогенной системе замкнутого цикла водородного уровня при температуре 20 К [7]. Шумовая температура системы менялась от 180 до 230 К в зависимости от погодных условий. Получаемые спектры регистрировались автокорреляционным анализатором спектра на 2048 каналов с полосой анализа 50 МГц и частотным разрешением 24.4 кГц или по скорости 0.2 км/с.

4. Результаты наблюдений кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) в линиях аммиака

На рис. 1 приведен итоговый спектр кометы в линии $\text{NH}_3(3,3)$ с усреднением в течение несколько дней. Время накопления сигнала в течение одного сеанса наблюдений составляло 5-6 часов.

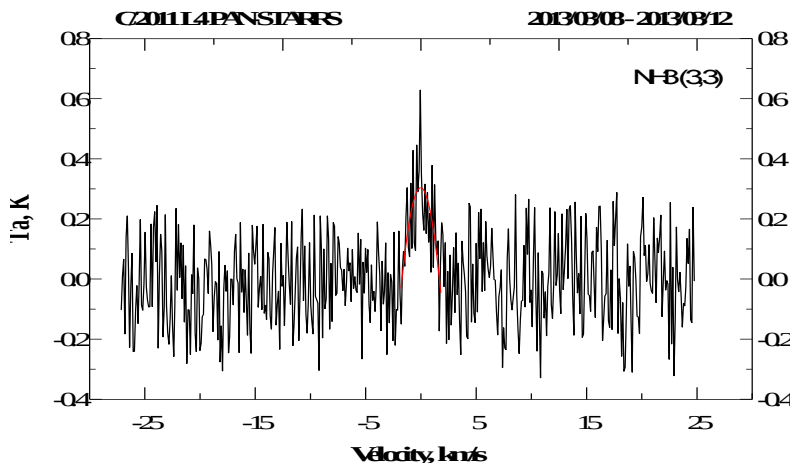


Рис. 1. Усредненный спектр кометы C/2011 L4 PanSTARRS в линии $\text{NH}_3(3,3)$ по результатам наблюдений 8 – 12 марта 2013 года

5. Наблюдения кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) в линии метанола

Наблюдения кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) в линии 4_1-3_0 CH_3OH на 36169.29 МГц проводились в период с 14 марта по 21 марта 2013 г. на радиотелескопе РТ-22 Пущинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО АКЦ ФИАН). На рис. 2 приведен усредненный за шесть с половиной часов спектр наблюдений, полученный 21 марта 2016 года. Положение ожидаемой линии обозначено крестиком. Показанные на спектрограмме справа вверху параметры вписанной спектральной линии определялись аппроксимацией спектра методом максимальной окрестности [8]. Так как найденная этим методом амплитуда линии оказалась сравнима с величиной среднеквадратичной ошибки (2.8 ± 2.5 Янских), был сделан вывод о том, что, несмотря на значительное усреднение за каждый день наблюдений, обнаружить линию метанола с потоком больше чем 1.5 Янских не удалось.

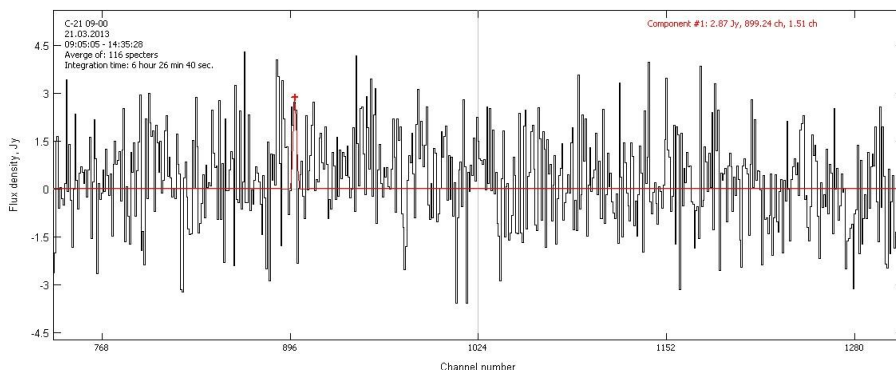


Рис. 2. Усредненный спектр кометы C/2011 L4 (PanSTARRS) по результатам наблюдений 21 марта 2013 года на РТ-22 в Пушчино

6. Анализ полученных данных

Верхний предел газопроизводительности кометы по CH_3OH , $Q(\text{CH}_3\text{OH})$, определялся по методу из работы [9]. В соответствии с [10] было принято, что $T_{\text{ex}} = 103 \times r_h^{-1.1}$, а $V_{\text{exp}} = 1.12 \times r_h^{-0.41}$, где T_{ex} и V_{exp} – температура возбуждения и скорость разлета молекул CH_3OH , r_h – гелиоцентрическое расстояние в астр. ед. Скорость фотолиза CH_3OH на 1 астр. ед. ($1.3 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$) была взята из [11].

В результате верхний предел $Q(\text{CH}_3\text{OH})$ оказался равен $2 \times 10^{31} \text{ мол.с}^{-1}$, в то время как найденная газопроизводительность кометы по H_2O была равна 4.3×10^{29} , 3.0×10^{29} и $2.2 \times 10^{29} \text{ мол.с}^{-1}$ 18, 19 и 20 марта 2013 г. соответственно [3]. Для кометы Хейла-Боппа было найдено, что $Q(\text{CH}_3\text{OH})/Q(\text{H}_2\text{O})$ равно 0.02 [9], и это показывает, что найденный нами верхний предел $Q(\text{CH}_3\text{OH})$ на три порядка превышает ожидаемый уровень.

7. Заключение

С помощью РТ-22 КрАО начаты работы по исследованию комет в линии NH_3 на длине волны 1.26 см. Проведены наблюдения кометы C/2011 L4 PanSTARRS в момент прохождения кометой перигелия.

Список литературы

[1] Wainscoat R., Micheli M., Wells L., Holmes R., Foglia S., Vorobjov T., Sostero G., Guido E., Sato H., Williams G.V. Comet C/2011 L4 (Panstarrs) // IAU Circ. 2011. No. 9215. P. 1.

- [2] Lovell A.J., Howel E.S. Radio OH observations of Comet C/2011 L4 PANSTARRS // *American Astronomical Society, DPS meeting*. 2013. V. 45. P. 413.19.
- [3] Combi M.R., Bertaux J.-L., Quémerais E., Ferron S., Mäkinen J.T.T., Aptekar G. Water Production in Comets C/2011 l4 (PanSTARRS) and C/2012 f6 (Lemmon) from observations with SOHO/SWAN // *Astronomical Journal*. 2014. V. 147. Is. 6. Article id. 126. 7 pp.
- [4] Volvach A.E., Berezhnoi A.A., Volvach L.N., Strepka I.D., Volvach E.A. Observations of OH Maser Lines at an 18_cm Wavelength in 9P/Temper1 and Lulin C/2007 N3 Comets with RT-22 at the Crimean Astrophysical Observatory // *Bulletin of the Crimean Astroph. Observatory*. 2011. V. 107. P. 110–112.
- [5] Volvach L.N., Berezhnoi A.A., Volvach A.E. Observation of Comets C/2009 R1 (McNaught) and 17P/Holmes in the OH Line at a Wavelength of 18 cm // *Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory*. 2013. V. 109. P. 71–75.
- [6] Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Стрелка И.Д., Антюфеев А.В., Мышенко В.В., Зубрин С.Ю., Шульга В.М. Некоторые результаты совместных НИИ КрАО и РИ НАНУ исследований областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2009. Т. 104. №6. С. 72–79.
- [7] Краснов В.В., Миннебаев В.М. Криогенный малошумящий усилитель 8-миллиметрового диапазона // *Радиотехника и электроника*. 2004. Т. 49. № 1. С. 115–122.
- [8] Smirnov G.T., Tsvilev A.P. Computer approximation of the spectrograms of radio sources // *Soviet Astronomy*. 1982. V. 26. P. 616–621.
- [9] Ikeda M., Kawaguchi K., Takakuwa S., Sakamoto A., Sunada K., Fuse T. Multi-transitional observations of methanol in Comet Hale-Bopp (1995 O1) // *Astronomy and Astrophysics*. 2002. V. 390. P. 363–367.
- [10] Biver N., Bockelée-Morvan D., Colom P., Crovisier J., Germain B. et al. Long-term Evolution of the Outgassing of Comet Hale-Bopp From Radio Observations // *Earth, Moon, and Planets*. 1997. V. 78. Is. 1/3. P. 5–11.
- [11] Bockelee-Morvan D., Crovisier J., Colom P., Despois D. The rotational lines of methanol in comets Austin 1990 V and Levy 1990 XX // *Astronomy and Astrophysics*. 1994. V. 287. Is. 2. P. 647–665.

References

- [1] Wainscoat R., Micheli M., Wells L., Holmes R., Foglia S., Vorobjov T., Sostero G., Guido E., Sato H., Williams G.V. Comet C/2011 L4 (Panstarrs), *IAU Circ.*, 2011, no. 9215, p. 1.
- [2] Lovell A.J., Howel E.S. Radio OH observations of Comet C/2011 L4 PANSTARRS, *American Astronomical Society, DPS meeting*, 2013, v. 45, p. 413.19.
- [3] Combi M.R., Bertaux J.-L., Quémerais E., Ferron S., Mäkinen J.T.T., Aptekar G. Water Production in Comets C/2011 l4 (PanSTARRS) and C/2012 f6 (Lemmon) from observations with SOHO/SWAN, *Astronomical Journal*, 2014, v. 147, is. 6, article id. 126, 7 pp.
- [4] Volvach A.E., Berezhnoi A.A., Volvach L.N., Strepka I.D., Volvach E.A. Observations of OH Maser Lines at an 18_cm Wavelength in 9P/Temper1 and Lulin C/2007 N3 Comets with RT-22 at the Crimean Astrophysical Observatory, *Bulletin of the Crimean Astroph. Observatory*, 2011, v. 107, pp. 110–112.
- [5] Volvach L.N., Berezhnoi A.A., Volvach A.E. Observation of Comets C/2009 R1 (McNaught) and 17P/Holmes in the OH Line at a Wavelength of 18 cm, *Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory*, 2013, v. 109, pp. 71–75.

- [6] Volvach A.E., Volvach L.N., Strepka I.D., Antyufeev A.V., Myshenko V.V., Zubrin S.Yu., Shulga V.M. Nekotorye rezul'taty sovmestnykh NII KrAO I RI NANU issledovanij oblastej zvezdoobrazovaniya v santimetrovom i millimetrovom diapazonakh dlin voln, *Izv. Krymskoj Astrofiz. Observatorii*, 2009, v. 104, № 6, pp. 72-79. (In Russian).
- [7] Krasnov V.V., Minnenbaev V.M. Kriogennyj maloshumajaschij usilitel' 8-millimetrovogo diapazona, *Radiotekhnika i elektronika*, 2004, v. 49, № 1, pp. 115-122. (In Russian).
- [8] Smirnov G.T., Tsivilev A.P. Computer approximation of the spectrograms of radio sources, *Soviet Astronomy*, 1982, v. 26, pp. 616-621.
- [9] Ikeda M., Kawaguchi K., Takakuwa S., Sakamoto A., Sunada K., Fuse T. Multi-transitional observations of methanol in Comet Hale-Bopp (1995 O1), *Astronomy and Astrophysics*, 2002, v. 390, pp. 363-367.
- [10] Biver N., Bockelée-Morvan D., Colom P., Crovisier J., Germain B. et al. Long-term Evolution of the Outgassing of Comet Hale-Bopp From Radio Observations, *Earth, Moon, and Planets*, 1997, v. 78, is. 1/3, pp. 5-11.
- [11] Bockelee-Morvan D., Crovisier J., Colom P., Despois D. The rotational lines of methanol in comets Austin 1990 V and Levy 1990 XX, *Astronomy and Astrophysics*, 1994, v. 287, is. 2, pp. 647-665.