

УДК 524.5-77

Некоторые результаты совместных исследований НИИ “КрАО” и РИ НАНУ областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн

*А.Е. Вольвач¹, Л.Н. Вольвач¹, И.Д. Стрелка¹, А.В. Антюфеев², В.В. Мышенко²,
С.Ю. Зубрин², В.М. Шульга²*

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

² Радиоастрономический институт НАНУ, 61002, Харьков

Поступила в редакцию 5 октября 2008 г.

Ключевые слова: звездообразования, космические мазеры

1 Введение

Научно-исследовательский институт “Крымская астрофизическая обсерватория” (КрАО) и Радиоастрономический институт НАН Украины (РИ) имеют давние и тесные научные связи на протяжении более чем 25 лет. В научном направлении – исследование областей активного звездообразования, которое интенсивно развивается в мире, радиотелескоп РТ-22 КрАО занимает особое место. Во-первых, до настоящего времени он относится к числу наилучших антенных систем радиоастрономии, во-вторых, оснащен высокочувствительной приемной аппаратурой, позволяющей проводить наблюдения от дециметрового до миллиметрового диапазона длин волн. Все это позволяет проводить многочастотные исследования процессов, протекающих при зарождении, формировании и эволюции звезд в молекулярно-пылевых облаках. В результате совместных усилий на радиотелескопе реализована возможность проведения исследований практически всех космических мазеров (ОН-мазеры, H₂O-мазеры, метаноловые мазеры, SiO-мазеры), а также спектральных наблюдений в диапазоне частот от 85 ГГц до 115 ГГц.

2 Работы по модернизации антенно-приемного комплекса радиотелескопа РТ-22 КрАО

В 2004 году введен в строй контррефлектор диаметром 1510 мм с гиперболическим профилем отражающей поверхности и отклонением от этого профиля, не превышающим 70 микрон. Тем самым данный контррефлектор может использоваться до длин волн около 1 мм.

При разработке нового контррефлектора использовался принцип максимальной приемственности, т. е. были использованы без изменений посадочные места, а также устройство крепления и перемещения. Эффективная площадь радиотелескопа на длинах волн 13.5 мм и 8 мм составила 220 и 200 м² соответственно.

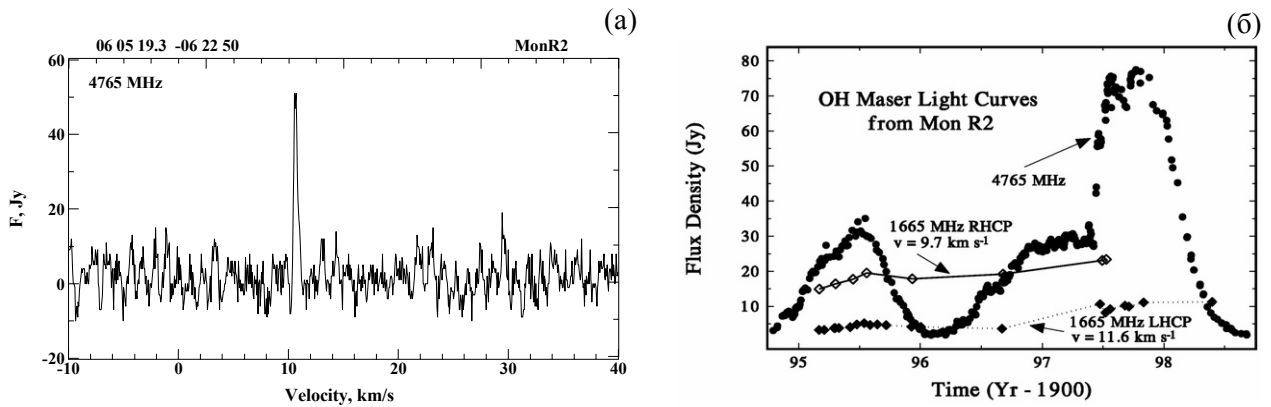


Рис. 1. Спектр мазерного источника MonR2 (а); Smits, 2003 (б)

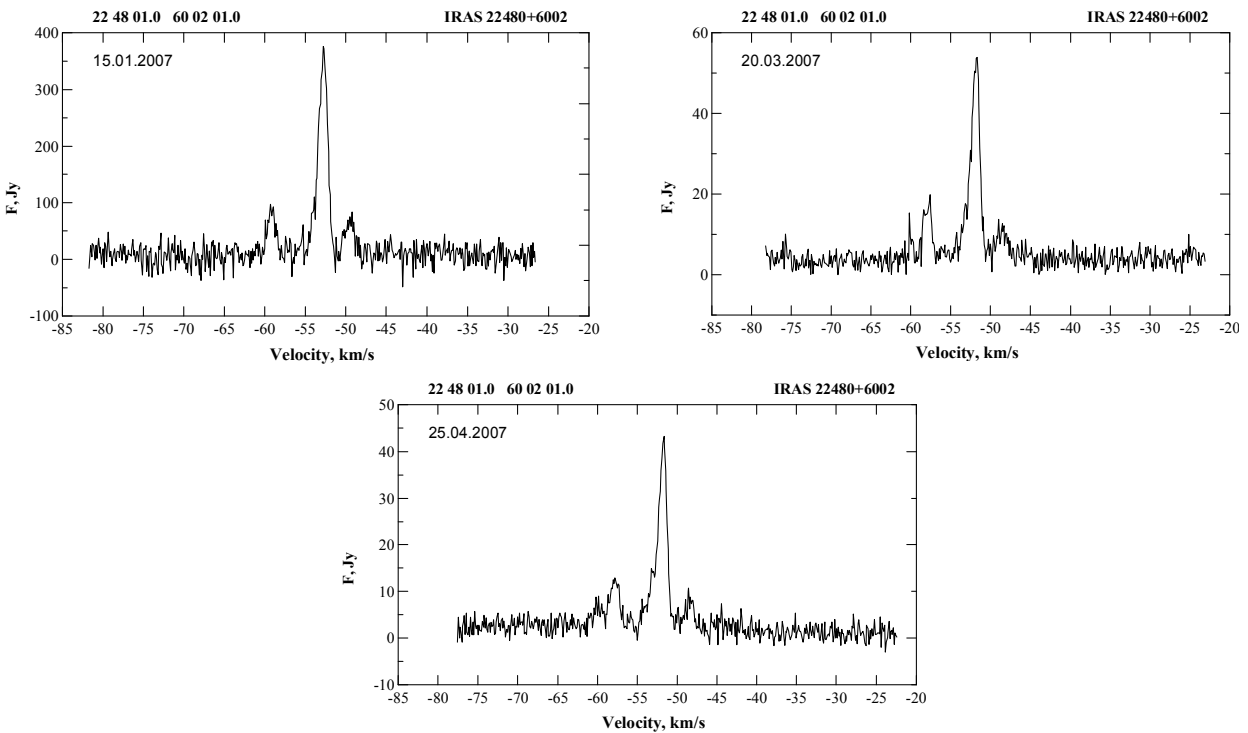


Рис. 2. Спектр источника IRAS22480+6002

Приемные системы для радиотелескопа РТ-22 разрабатывались на протяжении всех лет существования телескопа РТ-22. За последние 20 лет разработаны приемники различного типа, объединенные единой целью – обеспечить максимальную чувствительность при наблюдениях. На РТ-22 использовались криогенные и неохлаждаемые приемные системы с миллиметровым мазером, приемные системы со смесителями на полупроводниковых диодах с барьером Шоттки и сверхпроводниковых СИС структурах, приемные системы с транзисторными усилителями. В настоящее время РТ-22 оснащен следующими как криогенными, так и неохлаждаемыми приемными системами, которые охватывают диапазон длин волн от дециметровых до миллиметровых:

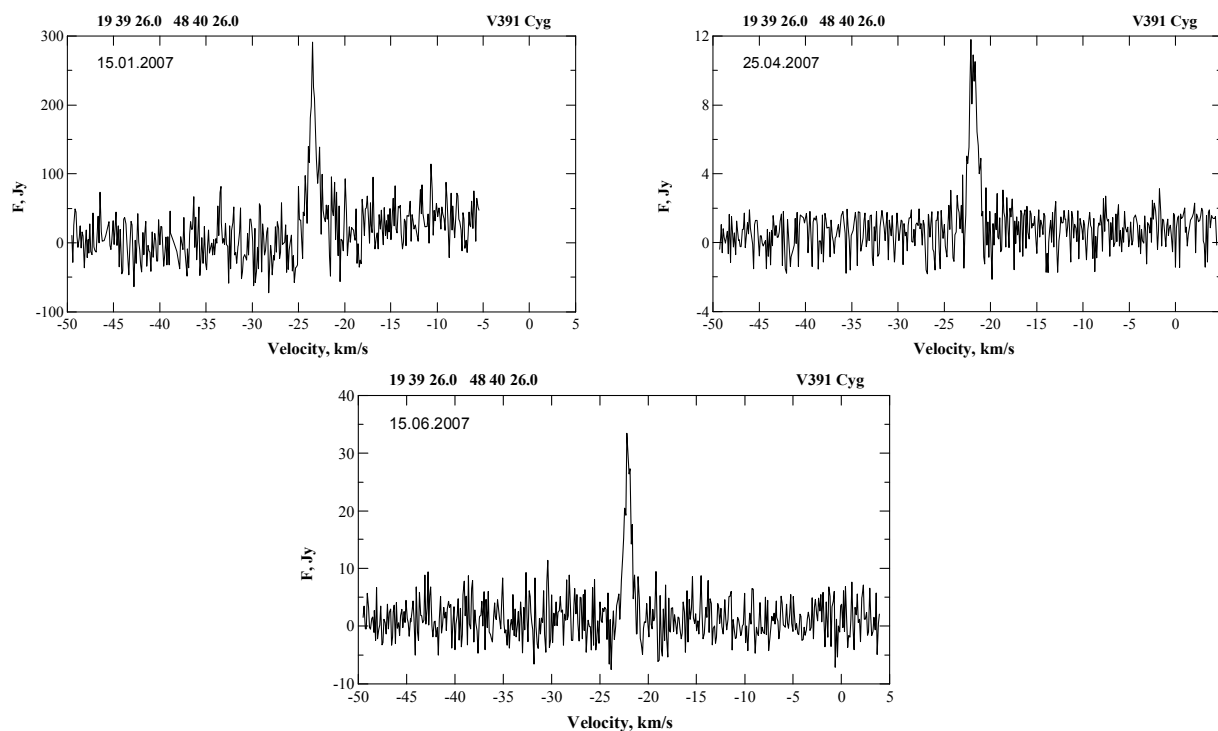


Рис. 3. Спектр источника V391Cyg

- **частоты 1600–1740 МГц** – приемная система с усилителем на НЕМ-транзисторах, которая без охлаждения обеспечивает собственную шумовую температуру $T_{ш} \approx 30$ К и используется для многочастотных наблюдений ОН-мазеров на частотах 1612 МГц, 1665 МГц, 1667 МГц и 1720 МГц (Вольвачи др., 2006).
- **частота 22 ГГц** – приемная аппаратура с усилителем на НЕМ-транзисторах (криогенная и неохлаждаемая). Неохлаждаемая система имеет собственную шумовую температуру $T_{ш} \approx 120$ К и предназначена для мониторинга H_2O -мазеров, а также изучения их переменности. Охлаждаемая приемная система с собственной шумовой температурой $T_{ш} \approx 25$ К используется при РСДБ-наблюдениях (Вольвачи др., 2007).
- **частоты 4.6–5.1 ГГц** – криогенная приемная система с НЕМ-усилителем с собственной шумовой температурой $T_{ш} \approx 10$ К предназначена для наблюдений мазеров на молекуле ОН в возбужденном состоянии ${}^2\Pi_{1/2}$ (Вольвач и др., 2006).
- **частоты 85–115 ГГц** – криогенная приемная система со смесителем на диоде с барьером Шоттки, которая имеет шумовую температуру не хуже 90 К в диапазоне рабочих частот. Данная приемная аппаратура предназначена для спектральных наблюдений линий излучения различных молекул в областях звездообразования (Пиддячий и др., 2005).

Для регистрации спектра молекулярного излучения приемные системы в своем составе имеют фильтровый и Фурье спектраллизаторы (Антюфеев, Шульга, 2005).

3 Краткий обзор результатов наблюдений на РТ-22 КраО

ОН-мазеры. Большая интенсивность линий излучения основного энергетического состояния ${}^2\Pi_{3/2}$ позволила отнести их к основным объектам наблюдения при изучении областей

звездообразования. На РТ-22 проводится постоянный мониторинг ОН-мазеров на разных частотах. Особое внимание уделяется временному поиску и мониторингу ОН-мазеров на частоте 1720 МГц, излучение которых, как считается, происходит при столкновительном возбуждении молекул ОН, поэтому эти мазеры связаны с такими областями, как остатки сверхновых, или в которых существуют биполярные потоки вещества из протозвезды. Проведено наблюдение более 40 областей звездообразования (Вольвач и др., 2006).

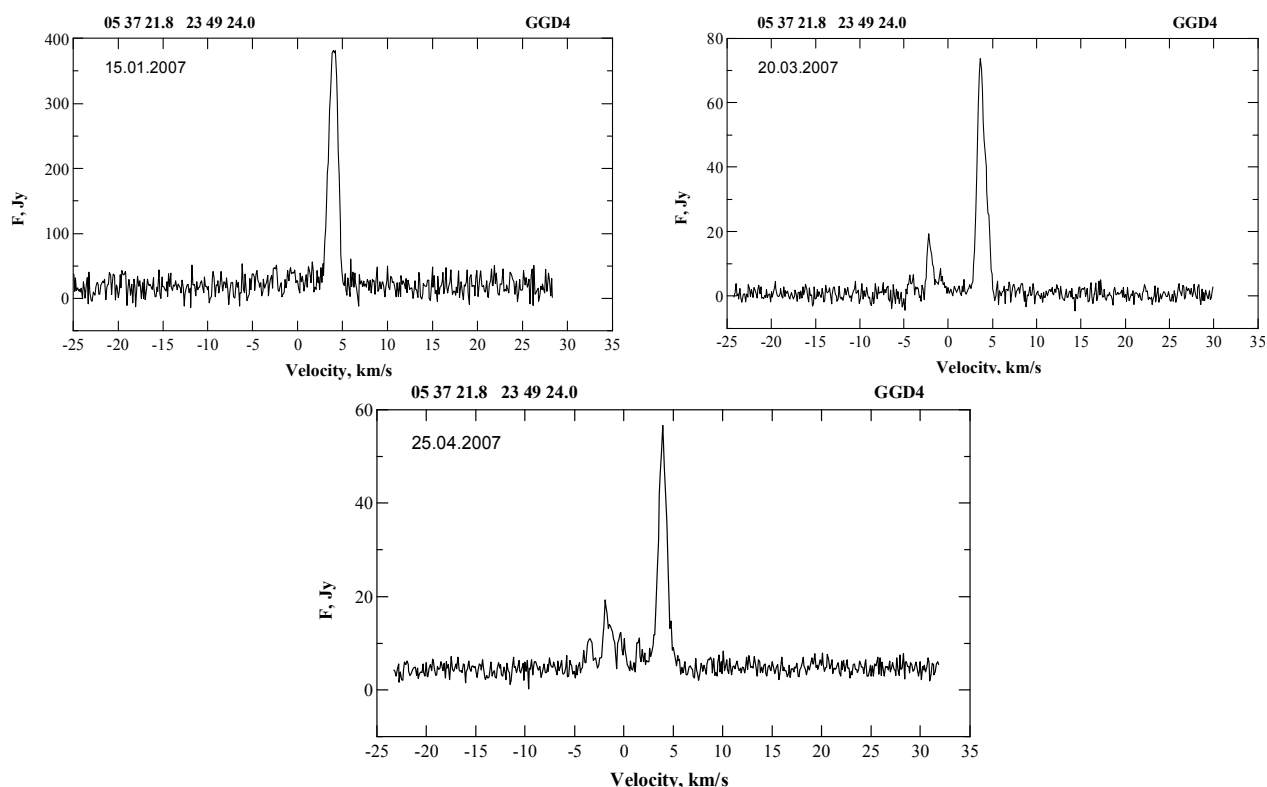


Рис. 4. Спектр источника GGD4

На рис. 1а приведен измеренный спектр источника MonR2 на частоте 4765 МГц. По горизонтальной оси отложена скорость в км/с, по вертикальной – антенная температура в К.

В феврале и марте 1982 г. в источнике интенсивность излучения компоненты с лучевой скоростью 10.8 км/с составляла около 0.12 Ян, в октябре 1990 г. – 1.5 Ян, в марте 1991 г. – 0.5 Ян, в октябре 1994 г. поток составил около 3 Ян и до конца 1994 г. возрос до значения 7–8 Ян. В середине 1995 г. плотность потока возросла до 30 Ян и затем начала уменьшаться (Коэн и др., 1995). В середине 1997 г. плотность потока компоненты возросла до 75 Ян (Смитс и др., 1998), а во второй половине 1998 г. уменьшилась до 5 Ян (Шимчак и др., 2000). Наши данные 2007 года показывают увеличение интенсивности мазерной линии в ~10 раз по сравнению с 1998 г.

Н₂О-мазеры. В период 2006–2007 гг. проведены исследования переменности мазерных источников в линии водяного пара на частоте 22 ГГц. Наблюдениями было охвачено более 300 объектов. Особенности излучения некоторых Н₂О-мазеров более детально приведены в работе (Вольвач и др., 2008).

Проведен анализ вариаций спектров источников мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см за период 1994–2007 гг.

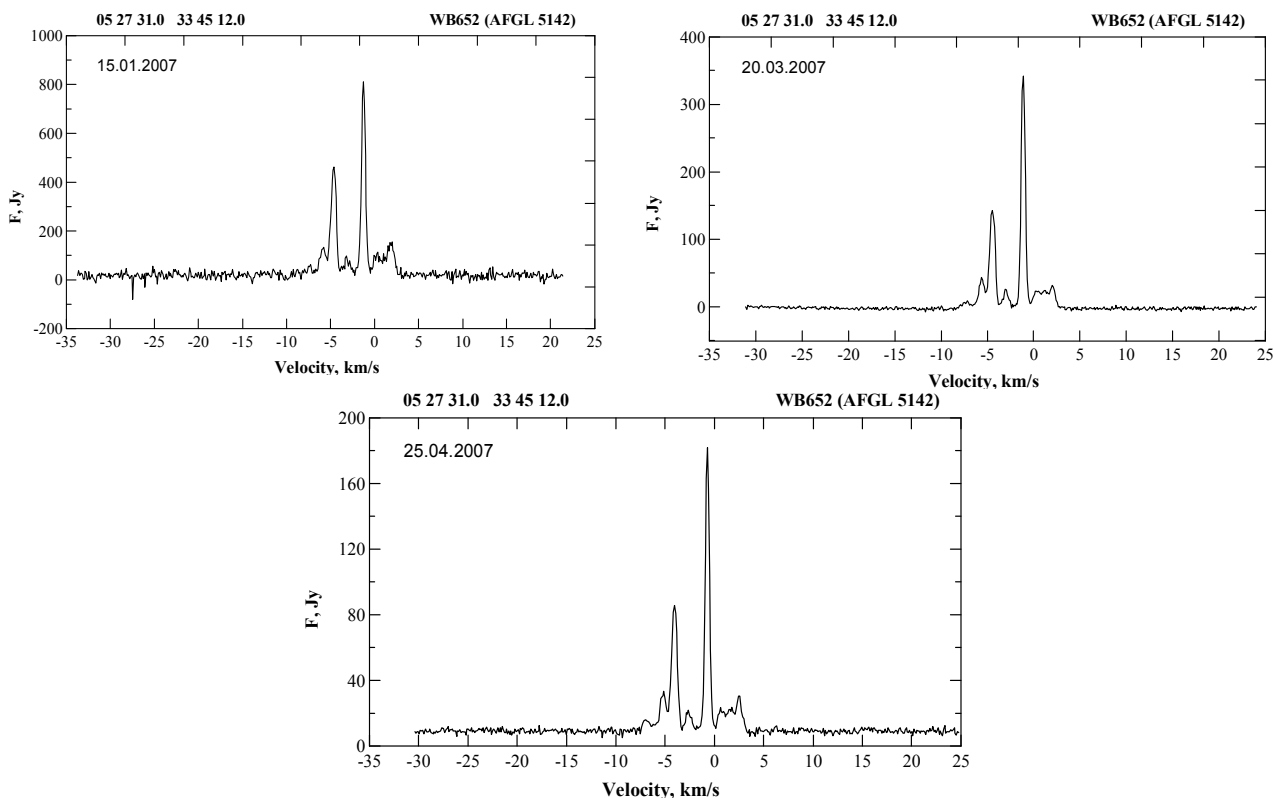


Рис. 5. Спектр источника WB652

Метаноловые мазеры – мазеры миллиметрового диапазона, которые имеют большой спектр мазерного излучения на разных переходах молекулы CH_3OH , характеристики которого определяются процессами, происходящими в молекулярно-пылевых облаках. Уникальность метаноловых мазеров заключается в многочастотности мазерного излучения, которое можно наблюдать в диапазоне частот 84–110 ГГц. В последние 3 года на РТ-22 КрАО начат поиск и изучение метаноловых мазеров. На рис. 6 показаны результаты двухчастотных наблюдений области Orion KL на переходах $8_0 - 7_1 \text{ A}^+$ (95.169 ГГц) и $3_1 - 4_0 \text{ A}^+$ (107.013 ГГц). На переходе $8_0 - 7_1 \text{ A}^+$ наблюдаются на фоне тепловой линии несколько мазерных излучений, а на переходе $3_1 - 4_0 \text{ A}^+$ – лишь тепловое излучение.

4 Многочастотные спектральные наблюдения молекулярных линий на РТ-22 КрАО

Многочастотные исследования областей звездообразования в линиях различных молекул, которые проводятся на радиотелескопе РТ-22 в 3-мм диапазоне, были начаты с приемником с квантовым усилителем на входе, а в настоящее время – в частотном интервале 85–115 ГГц с помощью приемника со смесителем на диоде с барьером Шоттки. Высокая чувствительность приемной аппаратуры и узкая диаграмма направленности антенны позволяют проводить детальное картографирование областей звездообразования, в том числе областей с мазерным

излучением молекул OH , H_2O , метанола. Это позволяет определять характеристики молекулярных облаков и кинетические процессы в них, которые сопровождают процессы образования и эволюции звезд. В качестве примеров на рис. 7 и рис. 8 показаны карты двух молекулярных облаков – темного молекулярного облака ТМС-1 (Шульга и др., 1996; Антифеев и др., 2008) и области формирования звезд с большой массой G122.0–7.1. На первом – четко видны ядра с повышенной плотностью вещества, найденные по излучению молекулы HCN .

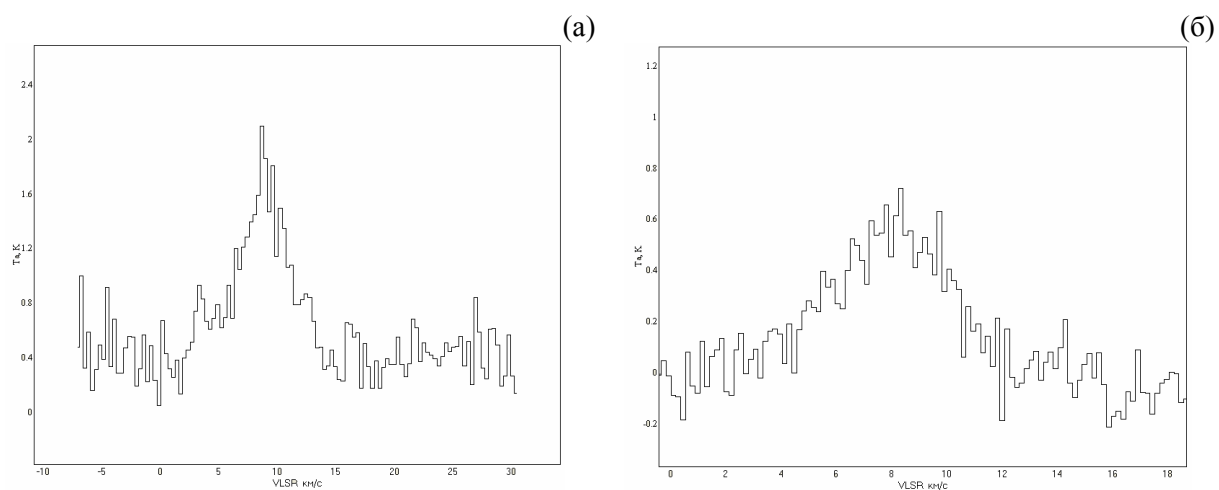


Рис. 6. Спектр излучения метанола на переходе $8_0 - 7_1 A^+$ (95.169 ГГц) в области Orion KL (а), спектр излучения метанола на переходе $3_1 - 4_0 A^+$ (107.013 ГГц) в области Orion KL (б)

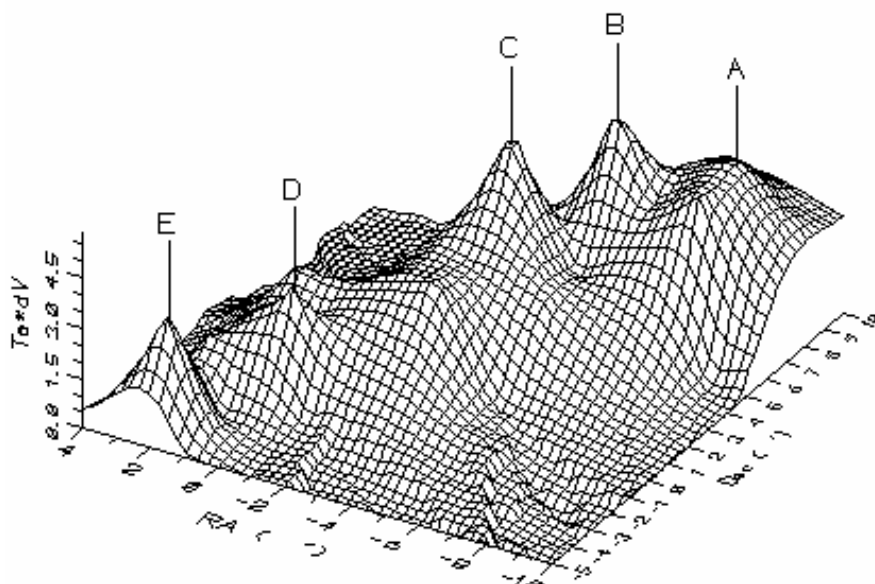


Рис. 7. 3-D изображение темного молекулярного облака ТМС-1 в линии $\text{HCN } J = 1-0$

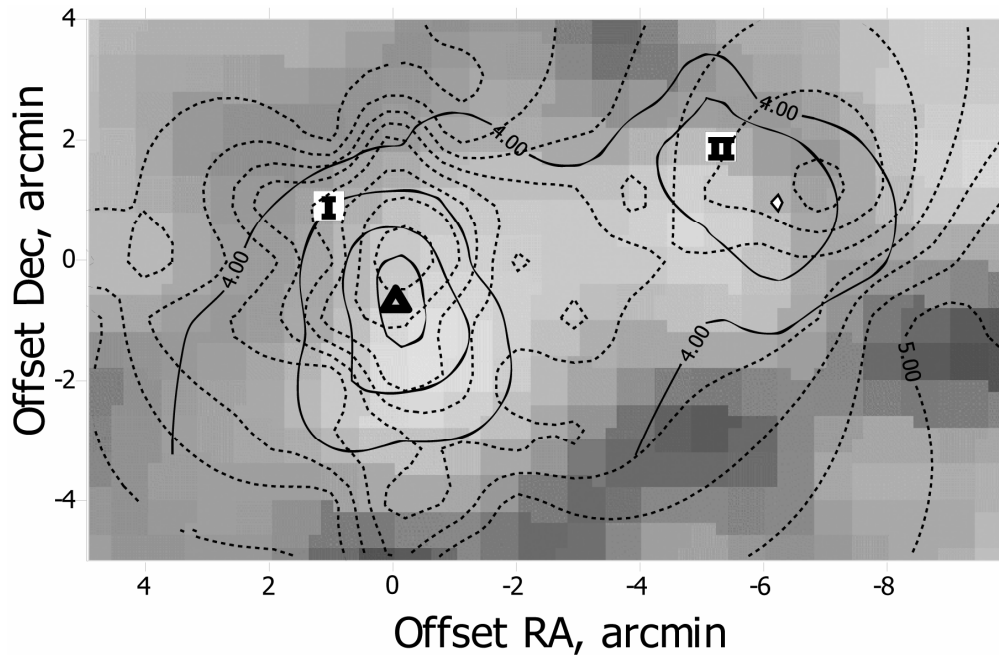


Рис. 8. Карта интегральной интенсивности излучения в линиях области G122.0–7.1 в линиях ^{12}CO (пунктир) и ^{13}CO (сплошная линия). Серым цветом показана интенсивность излучения на частоте 4850 МГц

На рис. 8 показана интегральная интенсивность излучения молекул ^{12}CO и ^{13}CO , совмещенная с континуальным излучением на частоте 4850 МГц. Анализ плотности молекул и скоростей их движения позволил определить две области в этом облаке, в которых происходит зарождение и развитие звезд на разных этапах их жизни.

5 Заключение

Сотрудничество двух организаций – НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” МОН Украины и Радиоастрономического института НАН Украины, активно работающих в области радиоастрономии, позволило начать и частично создать комплект приемных систем для многоволновых исследований от дециметрового до коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн. В настоящее время РТ-22 КрАО оснащен современной приемной и регистрирующей аппаратурой, не уступающей по чувствительности аналогам на других телескопах мира.

Литература

- Антюфеев А.В., Шульга В.М. // 2005. №. 10. С. 145.
 Антюфеев А.В., Шульга В.М., Торисева М. // *Kinem. and Phys. Celest. Bodies*. 2008. V. 24. №. 5. P. 333.
 Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Стрелка И.Д. // 16-я Международная конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Севастополь. Крым. Украина. 2006. С. 940.
 Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Стрелка И.Д., Шульга В.М. // 16-я Международная конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Севастополь. Крым. Украина. 2006. С. 942.

- Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Стрепка И.Д., Шульга В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 3. С. 65.
- Вольвач А.Е., Самодуров В.А., Толмачев А.М., Вольвач Л.Н., Субаев И.А., Рудницкий Г.М., Пащенко М.И. // Радиопизика и радиоастрономия. 2008. Т. 13. №. 3. С. 86.
- Вольвач и др. (Volvach L.N., Volvach A.E., Strepka I.D.) // Astron. Astrophys. Trans. 2006. V. 25. Issue 5–6. P. 379.
- Коэн и др. (Cohen R.J., Masheder M.R.W., Caswell J.L.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1995. V. 274. P. 808.
- Пиддячий В.И., Шульга В.М., Королёв А.М., Мышенко В.В. // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2005. V. 26. №. 9. P. 1307.
- Смитс (Smits D.P.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2003. V. 339. P. 1.
- Смитс и др. (Smits D.P., Cohen R. J., Hutawarakorn B.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1998. V. 296. L. 11.
- Шимчак и др. (Szymczak M., Kus A.J. and Hrynek G.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2000. V. 312. P. 211.
- Шульга В.М., Мышенко В.В., Назаров Е.А., Антюфеев А.В., Князьков Л.Б., Литвиненко Л.Н., Зинченко И.И., Лапинов А.В., Пирогов Л.Е. // Радиопизика и радиоастрономия. 1996. Т. 1. №. 1. С. 54.