ТРЕХМЕРНАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ ЛЕБЕДЬ X-1

О. И. Шарова[1], М. И. Агафонов[1], Е. А. Карицкая[2], Н. Г. Бочкарев[3], С. В. Жариков[4], Г. З. Бутенко[5], А. В. Бондарь[5]

[1] *Федеральное государственное научное учреждение "Научно-исследовательский радиофизический институт" (ФГНУ НИРФИ), Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12а*
e-mail: agfn@nirfi.sci-nnov.ru

[2] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*

[3] *Астрономический институт им. П. К. Штернберга, Москва, Россия*

[4] *Национальная астрономическая обсерватория, Институт астрономии, УНАМ, Мексика*

[5] *Астрономическая обсерватория Пик Терскол, Россия*

Впервые построена трехмерная доплеровская томограмма двойной рентгеновской системы Лебедь X-1. Реконструкция выполнена с использованием радиоастрономического подхода к малоракурсной томографии. Использованы профили спектральных линий He II 4686 Å, полученные в ходе спектрального мониторинга, проведенного в июне 2007 года при наблюдениях на телескопах обсерватории Пик Терскол и Национальной астрономической обсерватории Мексики. Проведен анализ обнаруженных структурных особенностей. Впервые сделаны оценки их скоростей с учетом компонента скорости V_z, перпендикулярного орбитальной плоскости. Сравнение наблюдательных и контрольных (построенных на основе томограммы) профилей методом χ-квадрат показало хорошее качество томограмм. Построенные двумерные томограммы подобны томограммам, полученным ранее для 1997, 2003 и 2004 гг.

ВВЕДЕНИЕ

На основе данных спектрального мониторинга в линии He II 4686 Å, проведенного в июне 2007 года на 2-м телескопе на пике Терскол (Россия) и на 2.1-м телескопе Национальной астрономической обсерватории Мексики, построены двумерные и трехмерные доплеровские томограммы рентгеновской двойной Лебедь X-1 (V1357 Cyg = Cyg X-1). Впервые получены данные о движениях газовых потоков в системе в направлениях, отличных от орбитальной плоскости. Реализация трехмерного (3D) варианта стала возможна благодаря использованию разработанного радиоастрономического подхода (РП) к реконструкции в малоракурсной томографии [1–3].

ДОПЛЕРОВСКИЕ ТОМОГРАММЫ

По данным наблюдений, выполненных в июне 2007 г., построены двумерные (2D) томограммы, которые подобны 2D-томограммам, полученным ранее (для 1997, 2003 и 2004 гг.) [4, 5]. Их реконструкция выполнялась в пространстве скоростей (V_x, V_y) с использованием РП. Зарегистрированные и отождествленные структурные особенности свидетельствуют, что эмиссионная составляющая линии He II 4686 Å в основном образуется во внешней, ближайшей к звезде-донору (О-сверхгиганту) части аккреционной структуры системы Лебедь X-1, а абсорбционная — в атмосфере сверхгиганта.

3D-томограммы построены по данным 2007 г. в пространстве скоростей (V_x, V_y, V_z). Их структура также показывает, что формирование профилей линии He II 4686 Å связано как со звездой-донором, так и с областью взаимодействия перетекающего вещества с аккреционной структурой вокруг компактного объекта. Реконструкция томограмм проводилась для угла наклонения системы, равного 45°. В связи с тем, что существует неопределенность в знании угла наклонения системы, выполнялось также построение контрольной томограммы для угла, равного 40°. Результат не выявил существенных отличий структуры. Проведенные ранее численные эксперименты [6, 7] с использованием моделей указали на хорошие возможности трехмерного восстановления с использованием РП к реконструкции в задачах трехмерной доплеровской томографии. Угол наклонения системы Лебедь X-1, равный 45°, соответствует геометрии задачи, при которой реализуется одинаковое разрешение как в плоскости (V_x, V_y), так и в перпендикулярных плоскостях (V_x, V_z) и (V_y, V_z). В результате при проведении анализа структурных

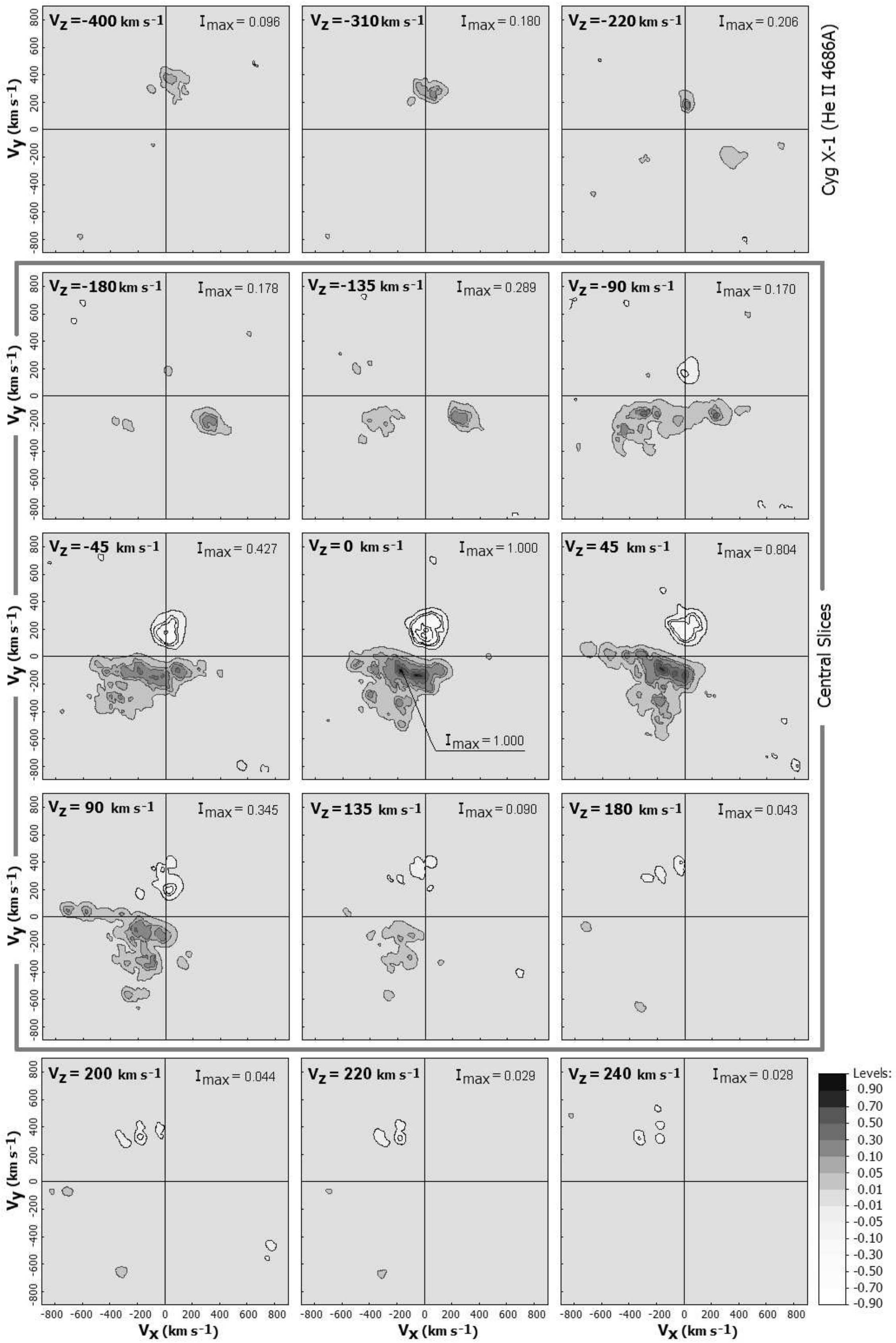

Рис. 1. Трехмерная доплеровская томограмма двойной звездной системы Лебедь X-1, построенная по данным спектрального мониторинга, проведенного в июне 2007 года

особенностей на томограммах не требовалось принимать во внимание какие-либо связанные с этим поправки.

На рис. 1 представлена трехмерная доплеровская томограмма, построенная по данным, полученным в ходе наблюдений 2007 г. на 2.1-метровом телескопе Национальной обсерватории Мексики. Использован 81 профиль спектральной линии He II 4686 Å. Разрешение построенной томограммы одинаково в направлении всех трех координатных осей (V_x, V_y, V_z) и равно $30 \times 30 \times 30$ км/с. Обратное восстановление профилей спектральной линии, рассчитанных, исходя из полученных доплеровских томограмм, показало согласие последних с наблюдательными данными для соответствующих орбитальных фаз. На рисунке показаны пятнадцать (V_x, V_y) сечений, соответствующих различным величинам компонента скорости V_z. Рамкой обведены девять центральных сечений, расположенных в пределах значений компонента скорости V_z от -180 до $+180$ км/с с равномерным шагом от сечения к сечению, равным 45 км/с. Сечения в верхнем и нижнем ряду отображают периферийные срезы томограммы. Структурные особенности, соответствующие сечению $V_z = 0$, имеют направления движений, параллельные орбитальной плоскости системы.

Как видно из набора сечений, структура томограммы состоит из трех основных компонентов. Первый из структурных компонентов ассоциируется со сверхгигантом и виден в поглощении. Он расположен на центральных сечениях выше точки пересечения осей (V_x, V_y) и характеризуется отрицательными уровнями изолиний. Максимум поглощения соответствует нулевому значению компонента скорости, перпендикулярного орбитальной плоскости, т.е. расположен на центральном сечении (V_x, V_y) при $V_z = 0$ км/с.

Второй структурный компонент относится к аккреционной структуре и наблюдается в эмиссии. Он расположен также на центральных сечениях. Его максимальная интенсивность достигается тоже при значении V_z, равном нулю. Однако он разбит на отдельные составляющие, имеющие различные V_z-компоненты скорости, находящиеся в основном в интервале от -180 до $+135$ км/с.

На сечениях верхнего ряда, соответствующих большим отрицательным значениям V_z (-210, -320, -400 км/с), обнаружена третья интенсивная эмиссионная особенность. По всей видимости, она также идентифицируется со сверхгигантом. Она имеет V_z около 300 км/с и, вероятно, может представлять собой поток вещества от звезды-донора, видимый в излучении и направленный почти перпендикулярно орбитальной плоскости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые построена трехмерная доплеровская томограмма рентгеновской двойной системы Лебедь X-1. Получены данные о движениях газовых потоков в системе в направлениях, отличных от орбитальной плоскости. Ранее с использованием стандартного двумерного варианта доплеровской томографии это было невозможно. Определены компоненты скоростей структурных особенностей томограммы как в направлениях орбитальной плоскости (V_x, V_y), так и в перпендикулярном направлении V_z.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за частичную поддержку работы (проекты 09-02-00993 и 09-02-01136).

[1] *Агафонов М. И., Шарова О. И.* Томография при ограниченном числе проекций. II. Радиоастрономический метод CLEAN в приложении к трехмерным задачам // Известия вузов. Радиофизика. – 2005. – **48**, № 5. – С. 367–381.

[2] *Agafonov M. I., Sharova O. I.* Few projections astrotomography: radio astronomical approach to 3D reconstruction // Astron. Nachr. – 2005. – **326**, N 2. – P. 143–149.

[3] *Агафонов М. И., Шарова О. И.* Трехмерная доплеровская томография двойных звездных систем // Кинематика и физика небес. тел. Приложение. – 2009. – № 6. – С. 344–348. (настоящий выпуск).

[4] *Karitskaya E. A., Agafonov M. I., Bochkarev N. G., et al.* Cyg X-1 = V1357 Cyg Investigation Based on High-Resolution Optical Spectroscopy of 2002–2004 // Astron. and Astrophys. Transactions. – 2005. – **24**, N 5. – P. 383–390.

[5] *Karitskaya E. A., Agafonov M. I., Bochkarev N. G., et al.* Results of high-resolution optical spectroscopy investigations of Cyg X-1 = V1357 Cyg // Astron. and Astrophys. Transactions. – 2007. – **26**, N 1–3. – P. 159–162.

[6] *Sharova O. I.* Doppler tomography for investigation of binary central stars of planetary nebulae: computer modeling // Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond: Proc. IAU Symp. N 234. – 2006. – P. 507–508.

[7] *Шарова О. И., Агафонов М. И.* Компьютерное моделирование реконструкции доплеровских томограмм на основе радиоастрономического подхода // Труды Всероссийской астрономической конференции “ВАК 2007”. – Изд-во Казанского гос. универ, 2007. – С. 270–272.