ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В АЛГОЛЯХ U СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ И RS ЛИСИЧКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЕХМЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

М. И. Агафонов[1], О. И. Шарова[1], M. T. Richards[2]

[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] *Department of Astronomy and Astrophysics, Pennsylvania State University*
525 Davey Laboratory, University Park, PA, 16802, USA

Стандартные томографические доплеровские карты, построенные на основе профилей спектральных линий, отображают особенности структуры лишь на двумерной плоскости скоростей (V_x, V_y). Однако движения газовых потоков в направлениях, отличных от орбитальной плоскости, следует ожидать у целого ряда двойных звездных систем. Регистрация третьего компонента скорости V_z, перпендикулярного орбитальной плоскости, впервые осуществлена при реконструкции трехмерной доплеровской томограммы в 2006 году. В системе U CrB были обнаружены движения газовых потоков в направлениях, отличных от плоскости орбиты. В работе представлена краткая характеристика результатов трехмерной доплеровской томографии, полученных в истекший период для двух звездных систем U CrB и RS Vul.

ВВЕДЕНИЕ

Стандартные томографические доплеровские карты, построенные по профилям спектральных линий [1], отражают эмиссионные особенности структуры лишь на двумерной плоскости скоростей (V_x, V_y). Однако у многих двойных звездных систем, помимо движений газовых потоков в плоскости орбиты, следует ожидать движения потоков в направлениях, отличных от орбитальной плоскости. Анализ двумерных доплеровских карт, полученных ранее для двойных звездных систем U Северной Короны (U CrB) и RS Лисички (RS Vul) [2], позволил обнаружить и идентифицировать ряд структурных особенностей, имеющих направления движений, соответствующие орбитальной плоскости (V_x, V_y). Для регистрации третьего компонента скорости V_z необходима реконструкция трехмерных (3D) доплеровских томограмм. Разработанный для этой цели радиоастрономический подход (РП) [3, 4] позволил впервые решить проблему и выполнить построение доплеровских томограмм в трехмерном пространстве скоростей (V_x, V_y, V_z) [5]. Это стимулировало обсуждение вопросов, связанных с их анализом и идентификацией обнаруженных структурных особенностей. Представлена краткая характеристика результатов трехмерной доплеровской томографии, полученных для двух звездных систем типа Алголь U CrB и RS Vul.

ТРЕХМЕРНЫЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ ТОМОГРАММЫ

Первая трехмерная доплеровская томограмма опубликована в 2006 году [5]. Её структурные особенности соответствуют видимым в линии H_α в эпоху 2004 г. движениям газовых потоков в системе U CrB. Характерной особенностью системы в этот период является наличие газового потока, направленного вдоль баллистической траектории из точки Лагранжа $L1$ от донора к аккретору. Благодаря реконструкции 3D-томограммы впервые был обнаружен газовый выброс в направлении, перпендикулярном орбитальной плоскости. Трехмерные доплеровские томограммы построены также для системы U CrB по данным 1993 года при наличии аккреционного диска [6], а также для двойной системы RS Vul [7]. Помимо движений газовых потоков в орбитальной плоскости полученные результаты показали присутствие движений, имеющих значительную величину компонента скорости V_z, перпендикулярного орбитальной плоскости. Все перечисленные томограммы построены на основе профилей спектральных линий H_α, соответствующих различным орбитальным фазам во время вращения объектов. Проведенное моделирование [8, 9] показало хорошие возможности реконструкции томограмм с использованием РП. Проводилось обратное восстановление профилей спектральной линии, которые рассчитывались, исходя из полученных на основе экспериментальных данных доплеровских томограмм, что показало хорошее согласие последних с наблюдательными данными для соответствующих орбитальных фаз.

На рис. 1 в качестве примера представлены наиболее информативные сечения трехмерных томограмм, построенных для систем RS Vul и U CrB (1994 г.). Как видно из рисунка, в системе U CrB газовый поток, направленный вдоль баллистической траектории, расположен в орбитальной плоскости, что соответствует центральному сечению $V_z = 0$ км/с. Однако у томограммы системы RS Vul весьма слабое заполнение центрального сечения. Потоки имеют направления, отличные от орбитальной плоскости. Вместе с тем, весьма высока и приблизительно одинакова интенсивность структурных особенностей на равноудаленных от центра сечениях, что свидетельствует о сравнимых масштабах газовых течений как в положительном, так и в отрицательном направлениях по оси V_z, перпендикулярной орбитальной плоскости. Обнаруженное явление может быть следствием известной значительной магнитной активности системы RS Vul в отличие от системы U CrB. Детальное описание характерных особенности структуры и величин их скоростных компонентов, соответствующих томограммам, представлено в работах [5–7].

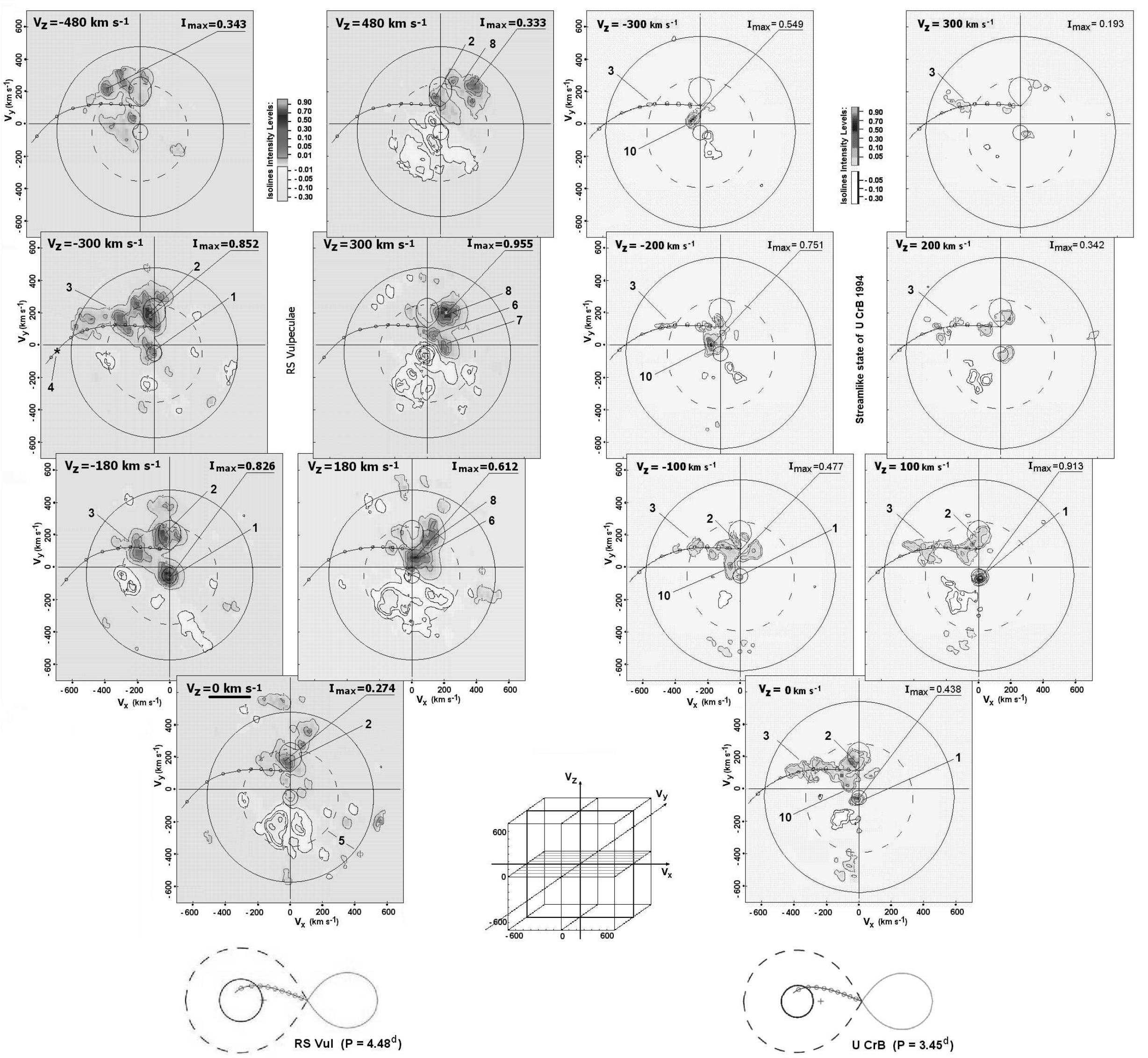

Рис. 1. Наиболее информативные сечения трехмерных доплеровских томограмм двойных звездных систем RS Vul и U CrB, представленные каскадом симметрично относительно центральных сечений, для которых компонент скорости $V_z = 0$ км/с. На сечениях показаны также полости Роша звезд-доноров, баллистические траектории из точки Лагранжа $L1$, положение звезд-аккреторов. Цифрами обозначены характерные структурные особенности. Куб иллюстрирует ориентацию центральных сечений в трехмерном пространстве скоростей. В нижней части рисунка изображены соответствующие системам картезианские модели

В результате проведенных исследований получено решение задачи реконструкции трехмерных доплеровских томограмм по экспериментальным данным. Проведена идентификация ряда обнаруженных структурных особенностей. На основании 3D-доплеровской томографии двойных систем U CrB и RS Vul показано наличие существенных движений газовых потоков в направлениях, отличных от орбитальной плоскости. Выбросы газа в направлениях, перпендикулярных орбитальной плоскости, находятся в согласии с результатами газодинамических расчетов [10], свидетельствующих о значительном расширении пространственной структуры в областях взаимодействия аккреционного диска и гало аккретора с газовой струей из точки Лагранжа $L1$. Следует отметить, однако, что задача корректной физической интерпретации обнаруженных на томограммах структурных особенностей имеет ряд дополнительных трудностей. Во-первых, надо иметь в виду, что томографические результаты получены при условии оптической прозрачности объектов. Учет оптической толщины сложен и может быть некорректен. Поэтому идеализация оправдана, она вводится также и в стандартном двумерном варианте доплеровской томографии. Второй фактор является более существенным для систем типа Алголь. Он связан со значительными углами наклонения их орбит. Для RS Vul и U CrB — это 78.7° и 79.1° соответственно. При реконструкции трехмерных доплеровских томограмм отношение величины разрешения вдоль оси V_z к величине разрешения в орбитальной плоскости (V_x, V_y) зависит от угла наклонения систем. Угол, при котором величины разрешений по осям V_x, V_y, V_z равны, соответствует 45 градусам. При наклонении, равном $\sim 79°$, разрешение по оси V_z приблизительно в 3.5 раза хуже, чем в плоскости (V_x, V_y). Оценки физических параметров систем на основании поля скоростей удобно делать при одинаковом разрешении по всем трем осям. При отличиях целесообразно вводить коррекцию. В общем случае требуется решение дополнительной достаточно сложной задачи V_z-деконволюции. Коррекция путем тривиального изменения масштаба для оси V_z допустима, однако лишь для компактных структурных особенностей, к которым относится, например, эмиссионная деталь томограммы, идентифицированная со звездой-аккретором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для двух звездных систем U CrB и RS Vul решена задача реконструкции трехмерных доплеровских томограмм. Помимо движений газовых потоков в орбитальной плоскости обнаружено присутствие движений, имеющих интенсивный компонент скорости V_z, перпендикулярный орбитальной плоскости, что ранее в стандартном варианте доплеровской томографии было невозможно. Анализ полученных результатов показал перспективность проведения дальнейших исследований двойных звездных систем на основе развития трехмерного варианта доплеровской томографии.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку работы (гранты 06-02-16234 и 09-02-00993).

[1] *Marsh T. R., Horn K.* Images of accretion disks. II. Doppler tomography // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1988. – **235.** – P. 269–286.

[2] *Richards M. T.* Doppler Tomography of Eclipsing and Non-eclipsing Algols // Astrotomography, Indirect Imaging Methods in Observational Astronomy / Eds H. M. J. Boffin, D. Steegs and J. Cuypers. Lecture Notes in Physics. – 2001. – **573**. – P. 276–300.

[3] *Агафонов М. И., Шарова О. И.* Томография при ограниченном числе проекций. II. Радиоастрономический метод CLEAN в приложении к трехмерным задачам // Изв. вузов. Радиофизика. – 2005. – **48**, N 5. – С. 367–381.

[4] *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).

[5] *Agafonov M. I., Richards M. T., Sharova O. I.* Three-Dimensional Doppler tomogram of gas flows in the Algol-type binary U Coronae Borealis // Astrophys. J. – 2006. – **652**, part 2. – P. 1547–1553.

[6] *Agafonov M. I., Sharova O. I., Richards M. T.* Three-Dimensional Doppler images of the disclike and streamlike states of U Coronae Borealis // Astrophys. J. – 2009. – **690**, part 2. – P. 1730–1744.

[7] *Richards M. T., Sharova O. I., Agafonov M. I.* Three-dimensional Doppler tomography of the RS Vulpeculae interacting binary // Astro-ph archive, http://archiv.org/abs/0909/2012v1. – 2009. – 12 с.

[8] *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.

[9] *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. унив., 2007. – С. 270–272.

[10] *Бисикало Д. В., Боярчук А. А., Кузнецов О. А., Чечеткин В. М.* Влияние вязкости на морфологию течения вещества в полуразделенных двойных системах // Астрон. журн. – 2000. – **77**, N 1. – С. 31–41.