

УДК 524.38

## МЕТОД ДОПЛЕРОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТАКЛИЗМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

*Д.Г. Якин, Н.В. Борисов*

### Аннотация

Работа посвящена применению метода доплеровской томографии для исследования катаклизмических переменных звезд. Данный метод позволяет на основе изменения профиля спектральной линии с орбитальной фазой строить карту скоростей излучающего вещества в двойной системе (доплеровскую карту). Анализ карты позволяет получить информацию о пространственном распределении излучающего вещества. Для реализации метода использовался модифицированный программный код Шпруита “dortar”. На основе спектров, полученных на БТА, впервые построены и проанализированы доплеровские карты для четырех новых катаклизмических переменных: HBVA 4705-03, MT Dra, SDSS J205017.85+053626.8, SDSS J160450.16+414328.6.

**Ключевые слова:** доплеровская томография, катаклизмические переменные, спектроскопия, аккреционные диски, HBVA 4705-03, MT Dra, SDSS J205017.85+053626.8, SDSS J160450.16+414328.6.

### 1. О методе доплеровской томографии

Метод доплеровской томографии, предложенный Маршем и Хорном [1] в 1988 г., активно используется для исследования тесных двойных систем. Исходным материалом служат одномерные профили эмиссионных линий, полученные с высоким спектральным разрешением в течение одного или нескольких полных орбитальных периодов. Используя эти профили и зная основные параметры системы, можно реконструировать доплеровскую томограмму. Томограмма (рис. 1) представляет собой карту распределения интенсивности излучения данной эмиссионной линии  $I(V_x, V_y)$  в пространстве скоростей. В основе метода лежит предположение о том, что наблюдаемой интенсивности в каждой точке профиля эмиссионной линии соответствует своя лучевая скорость. Таким образом, профиль линии в данной орбитальной фазе рассматривается как запись проекции поля скоростей излучающего вещества на луч зрения, соответствующий данной орбитальной фазе. Имея набор таких проекций (профилей спектральной линии) для набора фаз, покрывающих весь период, возможно реконструировать карту распределения интенсивности в пространстве скоростей и изучить пространственное распределение излучающей плазмы в рамках принятой модели движения вещества (например, предполагая, что вещество вращается по кеплеровским орбитам в диске вокруг белого карлика, см. рис. 1).

Для реализации метода был использован доработанный программный код Шпруита “dortar” [2]. В данной программе построение доплеровской карты осуществляется методом максимума энтропии (МЭ) с использованием алгоритма Люси [3]. В общих чертах суть метода заключается в минимизации среднеквадратичных отклонений между набором наблюдаемых профилей линий и набором модельных профилей, рассчитанных по текущей версии доплеровской карты.

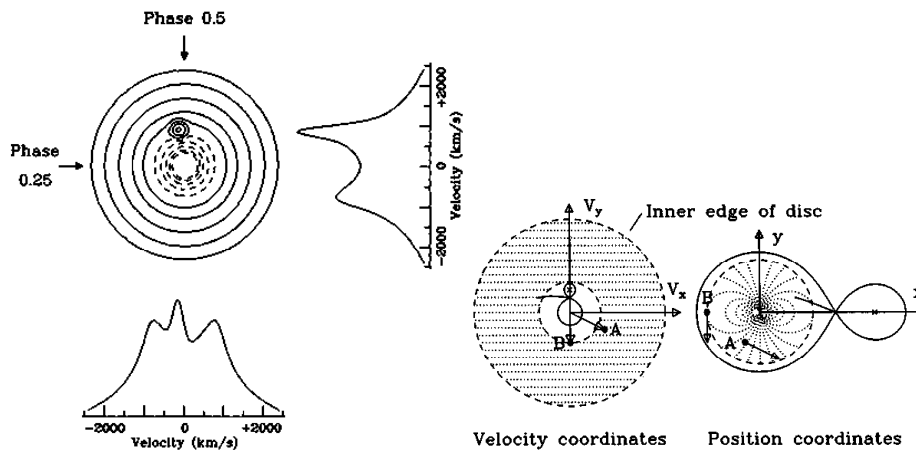


Рис. 1. *Левая панель:* наглядное представление формирования доплеровской карты на основе профилей линий в разных фазах. *Правая панель:* связь доплеровской карты (слева) и геометрии объекта (справа) в предположении, что все скорости в диске кеплеровские. Воспроизведено из [1]

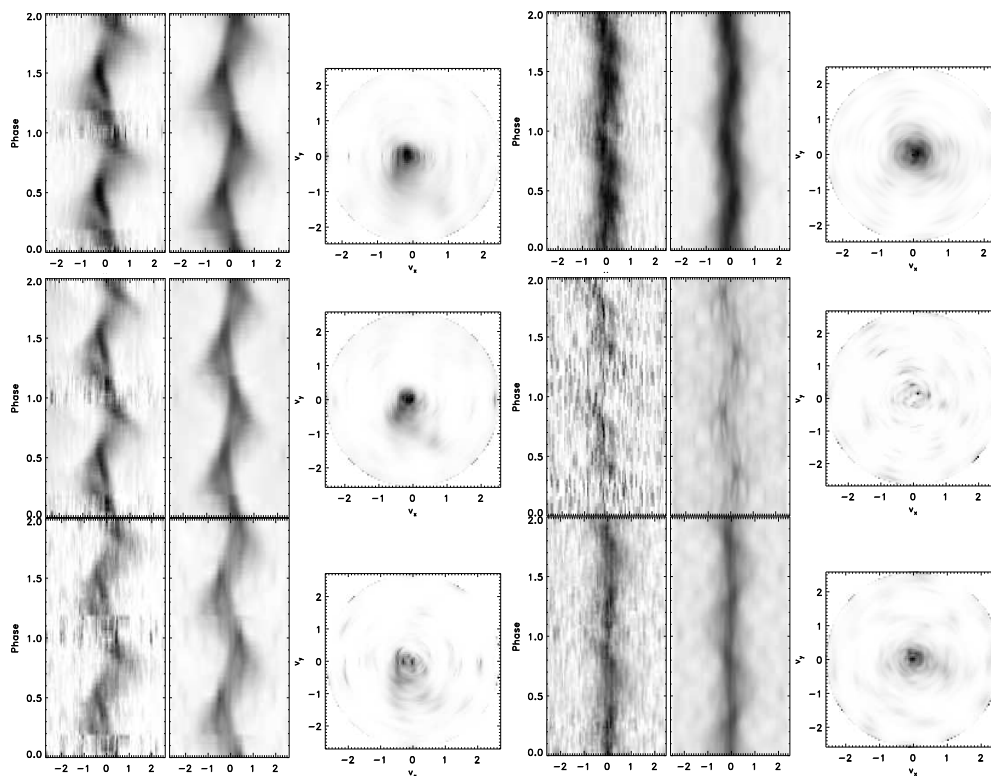


Рис. 2. Доплеровские карты MT Dra и SDSS J160450.16+414328.6 (слева направо). Для каждого объекта показаны изменения профиля линии в зависимости от фазы, изменения восстановленного с доплеровской карты профиля линии и доплеровская карта. Сверху вниз линии: H $\beta$ , He I  $\lambda$  4471, He II  $\lambda$  4686

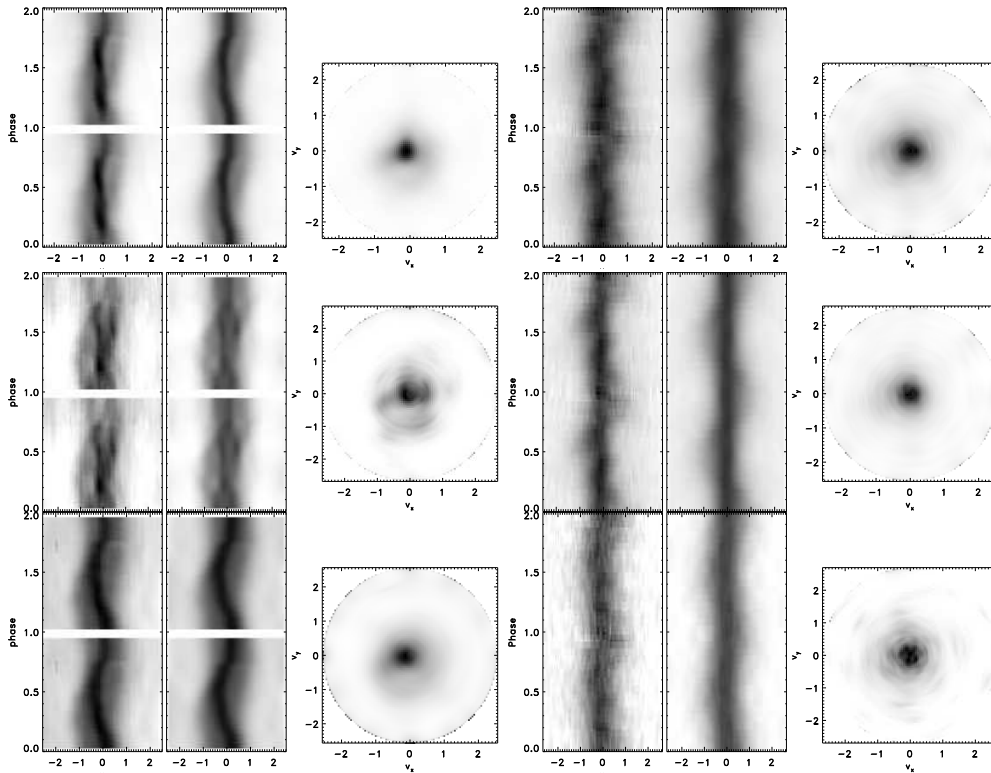


Рис. 3. Доплеровские карты NBHA 4705-03 и SDSS J205017.85+053626.8 (слева направо). Для каждого объекта показаны изменения профиля линии в зависимости от фазы, изменения восстановленного с доплеровской карты профиля линии и доплеровская карта. Сверху вниз линии  $H_{\beta}$ , He I  $\lambda$  4471, He II  $\lambda$  4686

Для тестирования метода были рассчитаны профили спектральных линий для модели аккреционного диска с пятнами. По рассчитанным профилям линии получена доплеровская карта, распределение интенсивности излучения на которой хорошо описывает исходную запятанную модель диска.

## 2. Результаты

На основе спектров, полученных на БТА, впервые восстановлены и проанализированы доплеровские карты по различным спектральным эмиссионным линиям для шести новых катаклизмических переменных: 1RXS J180834.7+101041, NBHA 4705-03, MT Dra, SDSS J160450.16+414328.6, SDSS J165951.69+192745.6, SDSS J205017.85+053626.8.

В настоящей работе представлен краткий анализ карт четырех источников.

Система MT Dra имеет орбитальный период  $P_{\text{orb}} = 2.1452$  ч. Построенные доплеровские карты (рис. 2, слева) водородных и гелиевых линий имеют одну и ту же структуру: центральное пятно радиуса 300–400 км/с со сдвинутым центром до точки  $V_x = -(100 - 200)$  км/с. Одновременно наблюдается излучение со скоростью до  $V_y = -1000$  км/с. Доплеровские карты очень похожи на карты полярар V834 Cep типа AM Her [4], и можно предположить, что данный объект также является поляраром.

Карты SDSS J160450.16+414328.6 ( $P_{\text{orb}} = 3.36$  ч, рис. 2, справа) для линий  $H_{\beta}$  и He II  $\lambda$  4686 напоминают карты MT Dra только с обратным направлением распро-

странения эмиссионных областей и их более слабой яркостной выраженностью. Линия He I  $\lambda$  4471 очень слаба, что не дает получить по ней достоверную информацию.

Доплеровские карты HBVA 4705-03 ( $P_{\text{orb}} = 4.2103$  ч, рис. 3, слева), построенные по всем водородным линиям и He II  $\lambda$  4686, имеют схожую структуру: центральное яркое пятно радиусом 300 км/с. Для линии He I  $\lambda$  4471, помимо центрального пятна, наблюдается область формой полукруга радиусом 900 км/с. Многие промежуточные поляры имеют схожие карты, вероятно, этот объект также может быть промежуточным поляром.

Доплеровские карты объекта SDSS J205017.85+053626.8 ( $P_{\text{orb}} = 1.5161$  ч, рис. 3, справа), построенные по водородным и гелиевым линиям, имеют одну простую структуру: одно центральное пятно с радиусом около 1000 км/с. В целом у данного объекта не наблюдается заметной дисковой структуры.

Авторы искренне благодарны Комитету по тематике больших телескопов САО РАН за многолетнюю поддержку наших программ изучения спектров ТДС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-02-97013\_р-Поволжье-а).

### Summary

*D. G. Yakin, N. V. Borisov.* Doppler Tomography for Investigation of Cataclysmic Variables.

This work is devoted to the application of Doppler tomography for investigation of cataclysmic variables. This method uses changes in a spectral line profile with an orbital period and allows one to create a map of radiating matter velocities in a binary system (Doppler map). This map gives the possibility to study the space distribution of the radiating matter. We used a modified Spruit program code “dopmap” for realization of the method. Using spectra obtained with BTA, we derived and analyzed the Doppler maps of various spectral lines for four new cataclysmic variables: HBVA 4705-03, MT Dra, SDSS J205017.85+053626.8 and SDSS J160450.16+414328.6.

**Key words:** Doppler tomography, cataclysmic variables, spectroscopy, accretion disks, HBVA 4705-03, MT Dra, SDSS J205017.85+053626.8, SDSS J160450.16+414328.6.

### Литература

1. *Marsh T.R., Horne K.* Images of accretion discs – II. Doppler tomography // Mon. Not. R. Astr. Soc. – 1988. – V. 235. – P. 269–286.
2. *Spruit H.C.* Fast maximum entropy Doppler mapping // Astrophysics (astro-ph): arXiv:astro-ph/9806141v1. – 1998. – URL: <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/9806141>.
3. *Lucy L.B.* Optimum strategies for inverse problems in statistical astronomy // Astron. Astrophys. – 1994. – V. 289, No 3. – P. 983–994.
4. *Potter S.B., Romero-Colmenero E., Watson C.A., Buckley D.A.H., Phillips A.* Stokes imaging, Doppler mapping and Roche tomography of the AM Herculis system V834 Cen // Mon. Not. R. Astr. Soc. – 2004. – V. 348. – P. 316–324.

Поступила в редакцию  
16.12.10

---

**Якин Дмитрий Гаврилович** – младший научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [screplay@mail.ru](mailto:screplay@mail.ru)

**Борисов Николай Владимирович** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории РАН.

E-mail: [borisov@sao.ru](mailto:borisov@sao.ru)