

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ V795 Her

П. Д. Ефремова

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В данном исследовании проведен анализ спектральных данных V795 Her — новоподобной звезды типа SW Sex, попадающей в «провал периодов», полученных на телескопе БТА CAO РАН со спектрографом UAGS. Особое внимание в этой работе уделено исследованию переменности в линии HeII $\lambda 4686$. Анализ ее кривой потока и динамического спектра подтверждает то, что у системы наблюдаются квазипериодические изменения потока с характерным периодом ≈ 19 мин. Построена кривая лучевых скоростей в этой линии. Выполнена доплеровская томография в линиях H β , H γ и HeII $\lambda 4686$, указывающая на образование линий вне аккреционного диска.

SPECTRAL STUDY OF V795 Her CATAclysmic VARIABLE

P. D. Efremova

Kazan (Volga region) Federal University

In this study we analyze the spectral data of V795 Her, star of the SW Sex type in the period gap, obtained with the BTA telescope of the SAO RAS with the UAGS spectrograph. In this work special attention is paid to the study of the variability in the He II $\lambda 4686$ line. Analysis of its flux curve and dynamic spectrum confirms that the system has quasi-periodic flux changes with a characteristic period of ≈ 19 minutes. The radial velocity curve in this line is plotted. Doppler tomography in H β , H γ and HeII $\lambda 4686$ lines is performed, it indicates the formation of the lines outside the accretion disk.

Катаклизмические переменные — это тесные двойные системы, состоящие из белого карлика (первичный компонент) и маломассивной звезды главной последовательности. Вторичный компонент имеет заполненную полость Роша, его вещество перетекает через внутреннюю точку Лагранжа системы L_1 на белый карлик. В системах, где белый карлик не обладает сильным магнитным полем (напряженностью до $\sim 10^6 - 10^7$ Гс), вокруг него образуется аккреционный диск.

Объектом исследования в нашей работе стала катаклизмическая переменная V795 Her. Ее орбитальный период равен ≈ 2.6 ч, она попадает в так называемый «провал периодов» — малонаселенный промежуток от 2 до 3 ч на распределении катаклизмических переменных по орбитальным периодам. Касарес и др. (1996) [1] классифицировали объект как новоподобная типа SW Sex. Звезды этой группы обладают высокими темпами перетекания вещества, и поэтому они имеют оптически толстые аккреционные диски. В их спектрах наблюдаются абсорбции, проходящие по эмиссионным линиям водорода и нейтрального гелия в течение орбитального цикла. Для их объяснения авторы работы [2] выдвинули модель, основанную на предположении переполнения оптически толстого аккреционного диска струей, исходящей из точки Лагранжа L_1 . Также наблюдательной особенностью звезд типа SW Sex являются короткие квазипериодические изменения блеска в линии HeII $\lambda 4686$ вне основного периода переменности (например, у DW UMa в работе [3]).

Основная фотометрическая переменность V795 Her имеет средний период ≈ 2.8 ч, она связана с прецессией аккреционного диска. Переменность нестабильна по периодичности, амплитуде и фазе, и на кривой блеска не проявляются затмения компонентов системы [4].

Также у V795 Нег зарегистрированы квазипериодические изменения блеска. Паттерсон и Скиллман (1994) [5] определили их средний период — 19.3 мин.

В этой работе проводилась обработка спектральных данных V795 Нег, которые были получены 16 июля 2001 г. на 6-м телескопе БТА с длиннощелевым спектрометром UAGS. Они представляют собой 61 спектр объекта с экспозицией 180 с каждый и калибровочные кадры. Данные охватывают ≈ 1.39 орбитального цикла V795 Нег. При наблюдениях использовалась дифракционная решетка R1302/17 (1302 штрихов на миллиметр, спектральный диапазон 4 050–5 300 Å). Детектором излучения служила ПЗС-матрица (размер $1\,024 \times 1\,024$ пикселей, $\text{gain} = 1.3$). Обработка спектров включает в себя вычитание из кадров электронного нуля (байеса), их чистку от следов космических частиц, построение дисперсионной кривой, деление кадров на плоское поле, экстракцию спектров, их спектрофотометрическую калибровку и нормировку спектров на континуум. Удаление следов космических частиц проводилось с использованием Python-библиотеки `lacosmic`, остальные процедуры выполнены стандартными средствами пакета IRAF [6, 7].

Спектры V795 Нег содержат следующие линии: эмиссионные H β λ 4861, H γ λ 4340, H δ λ 4102, He I λ λ 4922, 5015, He II λ 4686, боуновскую blends C III/III λ 4645, C II λ 4267 и абсорбционную He I λ 4471. У линий бальмеровской серии наблюдается двугорбость из-за проходящей по ним абсорбции с наибольшим покрытием абсорбцией на орбитальных фазах около $\varphi = 0.5$.

Основываясь на предположении Касареса и др. [1] о том, что линия He II λ 4686 образуется близко к белому карлику, построенную нами кривую лучевых скоростей мы также аппроксимировали синусоидой. Полученная полуамплитуда лучевой скорости составляет $K = 90.3 \pm 13.0$ км/с, а средняя скорость равна $\gamma_1 = -169.3 \pm 10.1$ км/с. Значение первого параметра в пределах ошибок совпадает с полуамплитудой в работе [1], а средние скорости сильно различаются.

Далее нами были рассмотрены изменения потока в линии He II λ 4686. Для их анализа был выбран метод Ломба—Скаргла, позволяющий проводить поиск периодического сигнала на неоднородно распределенных данных [8, 9]. Полученный период внеорбитальных изменений потока равен 19.2 ± 0.2 мин. Результат совпадает с периодом фотометрических квазипериодических изменений блеска из публикации [5].

Подобные изменения потока наблюдаются и в динамическом спектре линии дважды ионизованного гелия. Для их анализа мы применили метод, реализованный в работе [3]: из исходного динамического спектра вычтена орбитальная переменность с использованием медианного фильтра, на разностном динамическом спектре, содержащем только интересные нас изменения блеска (см. на верхней панели рис. 1), вдоль каждой длины волны которого построена периодограмма Ломба—Скаргла. Его двухмерная периодограмма представлена на нижней панели рис. 1. Она не отражает строгую периодичность на одной частоте, однако имеет явный пик на скоростях от $-1\,000$ до 500 км/с, что указывает на квазипериодические изменения потока в этой линии. Примечательно, что изменения сильнее в голубой части линии He II λ 4686. Максимум мощности наблюдается при скорости -980 км/с и частоте 7.96 цикла за один орбитальный период, что соответствует периоду ≈ 19.6 мин.

Последним этапом анализа данных стало построение доплеровских томограмм (двухмерных изображений катаклизмической переменной в пространстве скоростей) в линиях H β , H γ и He II λ 4686. Томография V795 Нег проведена в программе `doptomog-2.0` (с ее описанием можно ознакомиться в [10, 11]). На построенную томограмму накладывается модель тесной двойной системы: границы полостей Роша компонентов, внешний край аккреционного диска (на ней происходит резонанс скоростей 3:1) и положение аккреционной струи. Значения параметров модели V795 Нег заимствованы из [12], а гамма-скорость — из публикации [1]. Мы использовали так называемый потокомодулированный вариант до-

плеровской томографии, предполагающий синусоидальную переменность излучающих областей [13]. Полученные доплеровские карты представлены на рис. 2.

На томограммах линий водорода области эмиссии имеют форму кольца с размерами, близкими к их размерам на томограммах в публикации Касареса и др. [1]. В своей публикации авторы предположили, что кольцевая область эмиссии образуется в аккреционном диске, однако в нашей работе на томограммы нанесена область диска согласно модели V795 Нег и область эмиссии находится за ее внешним краем. На нашей томограмме линии HeII $\lambda 4686$ пятно смещено в левую сторону от центра, а на томограмме Касареса и др. [1] оно находится между белым карликом и барицентром системы. Опираясь на этот наблюдательный факт и на упомянутое ранее различие средних лучевых скоростей, можно сделать вывод, что линия He II $\lambda 4686$ образуется не на белом карлике, возможно, в системе присутствует ветер во внутренней части аккреционного диска в соответствии с моделью из работы [2].

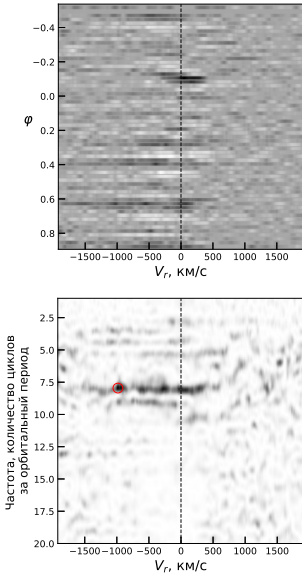


Рис. 1. Динамический спектр внеорбитальных изменений блеска в линии HeII $\lambda 4686$ (верхняя панель), соответствующая периодограмма (нижняя панель). Кружком на периодограмме выделена точка с максимальной мощностью. По горизонтальной оси отложены лучевые скорости

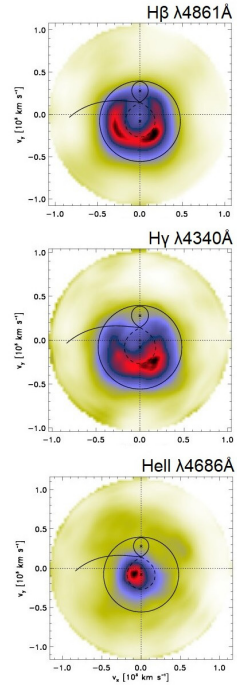


Рис. 2. Потокомодулированные доплеровские томограммы эмиссионных линий H β , H γ и HeII $\lambda 4686$ с нанесенной моделью катаклизмической переменной

Библиографические ссылки

- [1] *Casares J., Martinez-Pais I. G., Marsh T. R. et al.* V795 Her: an SW Sex star in the period gap? // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 1996. — Vol. 278, № 1. — P. 219–235.
- [2] *Hellier C.* V1315 Aquilae and the Nature of SW Sextantis Stars // Astrophys. J. — 1996. — Vol. 471. — P. 949.
- [3] *Dhillon V. S., Smith D. A., Marsh T. R.* The SW Sex enigma // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2013. — Vol. 428, № 4. — P. 3559–3568. 1210.7145.
- [4] *Papadaki C., Boffin H. M. J., Sterken C. et al.* Photometric study of selected cataclysmic variables // Astron. Astrophys. — 2006. — Vol. 456, № 2. — P. 599–609. astro-ph/0605164.
- [5] *Patterson J., Skillman D. R.* Superhumps in Cataclysmic Binaries. III. V795 Herculis // Public. Astron. Soc. Pacific. — 1994. — Vol. 106. — P. 1141.
- [6] *Tody D.* The IRAF Data Reduction and Analysis System // Instrumentation in astronomy VI / ed. by David L. Crawford : Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. — 1986. — Vol. 627. — P. 733.
- [7] *Tody D.* IRAF in the Nineties // Astronomical Data Analysis Software and Systems II / ed. by R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, J. Barnes : Astronomical Society of the Pacific Conference Series. — 1993. — Vol. 52. — P. 173.
- [8] *Lomb N. R.* Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data // Astrophys. Space. Sci. — 1976. — Vol. 39, № 2. — P. 447–462.
- [9] *Scargle J. D.* Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // Astrophys. J. — 1982. — Vol. 263. — P. 835–853.
- [10] *Kotze E. J., Potter S. B., McBride V. A.* Exploring inside-out Doppler tomography: non-magnetic cataclysmic variables // Astron. Astrophys. — 2015. — Vol. 579. — P. A77. 1507.05213.
- [11] *Kotze E. J., Potter S. B., McBride V. A.* Exploring inside-out Doppler tomography: magnetic cataclysmic variables // Astron. Astrophys. — 2016. — Vol. 595. — P. A47. 1610.09841.
- [12] *Dubus G., Otulakowska-Hypka M., Lasota J.-P.* Testing the disk instability model of cataclysmic variables // A&A. — 2018. — Vol. 617. — P. A26.
- [13] *Steeghs D.* Extending emission-line Doppler tomography: mapping-modulated line flux // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2003. — Vol. 344, № 2. — P. 448–454. astro-ph/0305365.