

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОЛЯРА SWIFT J0706.8+0325

С. С. Панарин

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В данной работе выполнен анализ оптических спектров системы Swift J0706.8+0325. Определены спектральный период ($P_{\text{spec}} = 0.0708 \pm 0.0007$ сут. или ~ 1.7 ч) и другие параметры кривой лучевых скоростей ($v_\gamma = -67 \pm 7$ км/с, $K = 378 \pm 9$ км/с). Проанализированы динамические спектры и доплеровские томограммы для линий водородной серии Бальмера ($H\beta - H\gamma$), линий нейтрального (HeI $\lambda 4471$) и ионизованного (HeII $\lambda 4686$) гелия. Анализ поведения эквивалентных ширин свидетельствует о высокой оптической плотности аккреционной струи в данных линиях и отсутствии затмений в системе.

SPECTROSCOPIC STUDY OF THE POLAR SWIFT J0706.8+0325

S. S. Panarin

Kazan (Volga Region) Federal University

In this work we analysed optical spectra of Swift J0706.8+0325 system. We found the spectral period $P_{\text{spec}} = 0.0708 \pm 0.0007$ d (or about 1.7 h) and other radial velocities curve parameters ($v_\gamma = -67 \pm 7$ km/s, $K = 378 \pm 9$ km/s). We analysed trailed spectra and Doppler tomograms for hydrogen Balmer series ($H\beta - H\gamma$), for neutral (HeI $\lambda 4471$), and for (HeII $\lambda 4686$) helium emissions. The obtained equivalent width curves showed high optical depth of the accretion stream in these lines.

Введение

Поляры (звезды типа AM Her) — это тесные двойные системы, состоящие из сильно замагниченного белого карлика ($B \sim 10^6 - 10^8$ Гс) и вторичной компоненты позднего спектрального класса ($G - L$), заполняющей свою полость Роша. Альфвеновский радиус в таких системах сравним с размером полости Роша белого карлика (БК, WD), поэтому аккреционный диск не образуется и вещество перетекает вдоль магнитных силовых линий БК в режиме канализированной аккреции. Выпадение вещества вблизи магнитного полюса БК образует ударную область высотой $\sim 0.1 R_{WD}$, являющуюся источником рентгеновского излучения, а также сильно поляризованного ($V/I \sim 20 - 30$ %) оптического циклотронного излучения. Оптический спектр полярлов содержит интенсивные линии бальмеровской водородной серии, нейтрального и ионизованного гелия, образующиеся в результате фотоионизации аккреционной струи.

Наиболее полным по данному объекту представляется исследование 2015 г. [1], в котором Swift J0706.8+0325 на основе двухкомпонентных профилей спектральных линий, большой амплитуды на кривой лучевых скоростей и сильной изменчивости блеска на периоде в 102 мин надежно идентифицирован как поляр.

В данной работе представлен анализ спектров, полученных на телескопе БТА САО РАН при помощи фокального редуктора первичного фокуса SCORPIO-2. Наблюдения проводились 16 ноября 2020 г. с использованием гризмы VPHG1200G ($\lambda = 3900 - 5700$ Å). Продолжительность наблюдений позволила охватить весь орбитальный период.

Средний спектр

Усредненный спектр объекта демонстрирует интенсивные линии водородной серии Бальмера, ионизованного и нейтрального гелия (рис. 1). Линия HeII $\lambda 4686$ оказалась относительно слабой, что является редкостью для полярков (ее интенсивность обычно сравнима с линией H β). Также стоит отметить отсутствие циклотронных гармоник, что можно объяснить либо слабым магнитным полем, либо высоким состоянием аккреции, в котором, по нашим предположениям, пребывал данный объект на момент наблюдений.

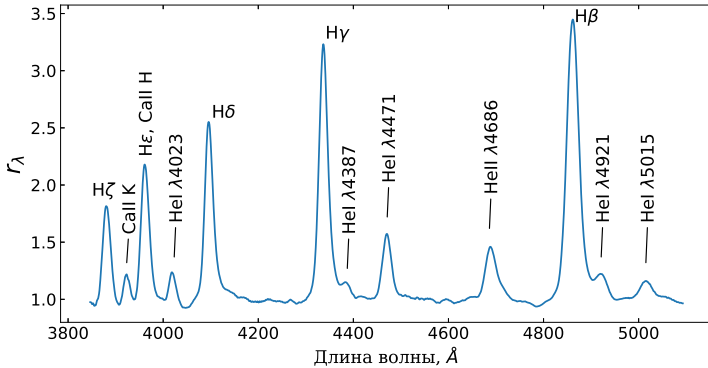


Рис. 1. Усредненный оптический спектр полярки Swift J0706.8+0325 по данным, полученным на телескопе БТА САО РАН 16 ноября 2020 г.

Динамические спектры

Для линий бальмеровской водородной серии и линий ионизованного (HeII $\lambda 4686$) и нейтрального (HeI $\lambda 4471$) гелия построены динамические спектры. Ниже представлен один из наиболее интересных результатов (рис. 2, слева), относящийся к линии ионизованного гелия: на фазах орбитального периода $\varphi = 0.07\text{--}0.2$ обнажается двухкомпонентная структура линии, что свидетельствует о наличии двух областей ее образования в системе. Стоит также отметить большие скорости доплеровского смещения для компонент всех линий (> 1000 км/с).

Эквивалентные ширины

Произведены измерения эквивалентных ширин всех наблюдаемых эмиссионных линий. На рис. 2 (справа) представлен результат для линии H β : видна «двугорбая» структура (эффект проекции), что указывает на значительный вклад в блеск системы излучения аккреционной струи и минимальный вклад вторичной компоненты за счет прогрева ее атмосферы излучением БК. Кривые изменения эквивалентных ширин имеют схожий вид для всех наблюдаемых линий с двумя максимумами за период, что позволяет нам говорить о высокой оптической толщине излучающей среды в данных линиях системы. Ошибки эквивалентных ширин определены методом Монте-Карло.

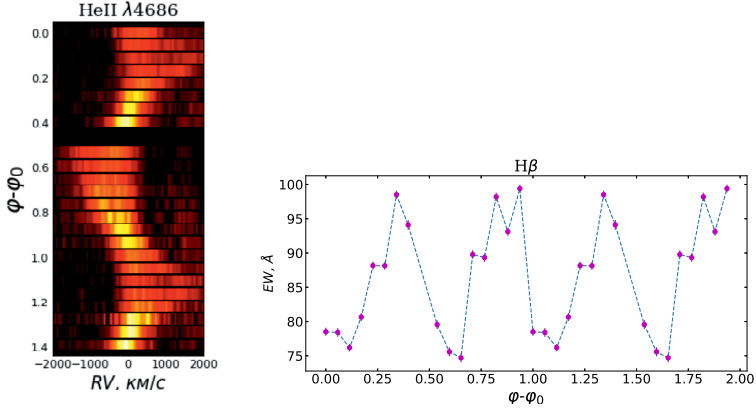


Рис. 2. Слева показан динамический спектр линии ионизованного гелия HeII 4486: по оси ординат отложены фазы в долях орбитального периода с точностью до начальной фазы, цветом показана интенсивность линии, по оси абсцисс отложены лучевые скорости. Справа показан график изменения эквивалентной ширины эмиссионной линии H_{β} в зависимости от фазы орбитального периода

Определение периода

Методом Ломба—Скаргла определен спектральный период $P_{spec} = 1.6992 \pm 0.0168$ ч или около 101.952 мин, что совпадает с результатами в [1]. Путем аппроксимации синусоидой наблюдаемой кривой лучевых скоростей определены следующие параметры: γ — скорость и полуамплитуда K (рис. 3). Ошибки определения периода и других параметров кривой лучевых скоростей найдены с использованием метода Монте-Карло.

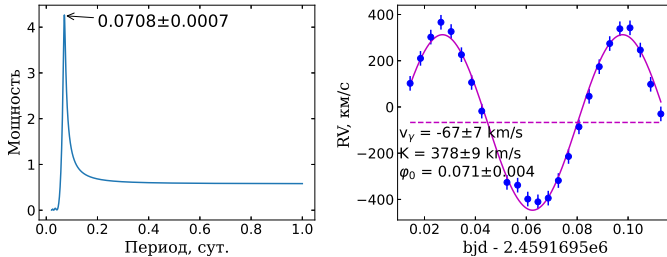


Рис. 3. Периодограмма Ломба—Скаргла (слева) и кривая лучевых скоростей (справа). На периодограмме пик соответствует периоду синусоиды, наилучшим образом аппроксимирующей наблюдаемые данные. Пунктир на кривой лучевых скоростей — скорость центра масс системы v_{γ}

Доплеровские томограммы

С использованием открытого кода из статьи [2] нами были восстановлены доплеровские томограммы в стандартной и «вывернутой» проекциях для всех наблюдаемых эмиссион-

ных линий. Томограммы во всех линиях, за исключением HeII $\lambda 4686$ (судя по всему, за образование этой линии ответственны иные области, по сравнению с другими эмиссиями), имеют схожую структуру и показывают отсутствие аккреционного диска в системе, что является еще одним аргументом в пользу отождествления данного объекта с полярами. Пока что у томограмм отсутствует фазовая привязка за неимением каких-либо наблюдательных данных, которые позволили бы восстановить положение компонент в системе во время наблюдений. В дальнейшем планируется детальный анализ аккреции в системе Swift J0706.8+0325 с определением широты и долготы магнитного диполя (положение области стагнации), наклонения системы, а также масс первичной и вторичной компонент.

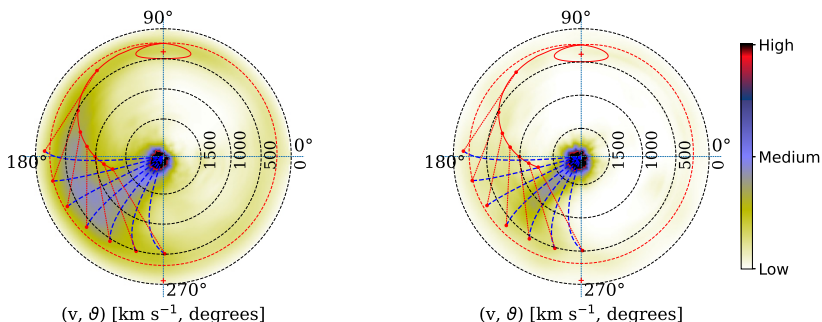


Рис. 4. Доплеровские томограммы в «вывернутой» проекции для линий H β (слева) и HeII $\lambda 4686$ (справа). Внешняя окружность соответствует значению скорости доплеровского смещения, равному 0 км/с, а сами скорости увеличиваются от периферии к центру. Баллистическая (сплошная красная кривая) и магнитная (синие пунктирные линии) траектории наложены в целях интерпретации поведения линий, то есть без определения точных параметров системы

Библиографические ссылки

- [1] *Halpern J. P., Thorstensen J. R.* Optical studies of 13 hard X-ray selected cataclysmic binaries from the Swift-BAT survey // *Astron. J.* — 2015. — Vol. 150. — P. 170.
- [2] *Kotze E. J., Potter S. B., McBride V. A.* Exploring inside-out Doppler tomography: magnetic cataclysmic variables // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 595. — P. 12 pp.