

ЗВЕЗДЫ ТИПА γ CAS: ПРОИСХОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Холтыгин А.Ф.¹, Рыспаева Е.Б.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым, Россия*

γ CAS STARS: THE ORIGIN OF X-RAY EMISSION

Kholtygin A.F.¹, Ryspaeva E.B.²

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Crimean Astrophysical Observatory RAS, Republic of Crimea, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-333-336>

An ensemble of γ Cas type stars is a group of Be stars with unusually hard X-ray emission and an X-ray luminosity that is higher than that of typical Be stars but less than that of massive X-ray binaries with Be components. The temperature of the X-ray emitting plasma reaches 10-20 keV or more, assuming their completely thermal X-rays nature. We analyzed the variability of the X-ray and optical emission of γ Cas stars. Regular components of X-ray brightness and line profile variations lines were discovered in spectra of selected γ Cas type. The periods of optical and X-ray variability appeared to be close to the typical periods of non-radial pulsations of massive OB stars. This indicates in favor of the hypothesis that the main process leading to X-ray emission of γ Cas stars is an interaction of the local magnetic fields of the star with its decretion disk.

Настоящая статья посвящена анализу формирования рентгеновского излучения звезд типа γ Cas. Эти звезды являются выделенной группой Be звезд с рентгеновской светимостью на 1–2 порядка выше, чем у обычных Be звезд, и аномально высокой (кТ~10–20 кэВ и более) температурой плазмы, излучающей в рентгеновской области спектра. В то же время оптические спектры звезд типа γ Cas не отличаются от спектров других Be звезд. Звезды этого типа обладают декреционными кеплеровскими дисками, которые проявляются сильными линиями излучения в оптических спектрах [1].

Природа рентгеновского излучения звезд типа γ Cas до сих пор не ясна, и его происхождение не может быть обусловлено крупномасштабным магнитным полем Be звезды, так как присутствие магнитного поля с напряженностью на полюсах всего в 10–100 Гс достаточно для разрушения диска [2, 3]. В то же время локальные магнитные поля звезд типа γ Cas могут существовать.

Существует несколько гипотез о формировании рентгеновского излучения звезд этой группы звезд. Postnov et al. [4] предположили, что рентгеновское излучение – результат аккреции вещества Be звезды на нейтронную звезду в режиме пропеллера, а Hamaguchi et al. [5] считают, что ак-

креция происходит на магнитный белый карлик. В статье [6] рассмотрен вклад нетеплового рентгеновского излучения в спектры звезд типа γ Cas. Генерация рентгеновского излучения может также происходить при взаимодействии локальных магнитных полей Ве звезды с диском [7]. Согласно Smith et al. [8] этот механизм является основным процессом формирования рентгеновского излучения звезд типа γ Cas. Пролить свет на природу звезд типа γ Cas может сравнение переменности их оптических и рентгеновских спектров.

Переменность профилей линий видимого спектра

Для исследования переменности профилей линий были проанализированы разностные профили

$$d(V, t_i) = F_i(V) - \overline{F}_i(V), \quad (1)$$

где $F_i(V)$ – нормированный на континуум поток в линии в спектре с номером i , соответствующий доплеровскому смещению V , а $\overline{F}_i(V)$ – средний по всем наблюдениям поток в линии. Зависимость разностных профилей линий в спектре γ Cas, полученных 17–18 сентября 2020 г. на 1.25-м телескопе Крымской станции ГАИШ, представлена на рис. 1 (слева).

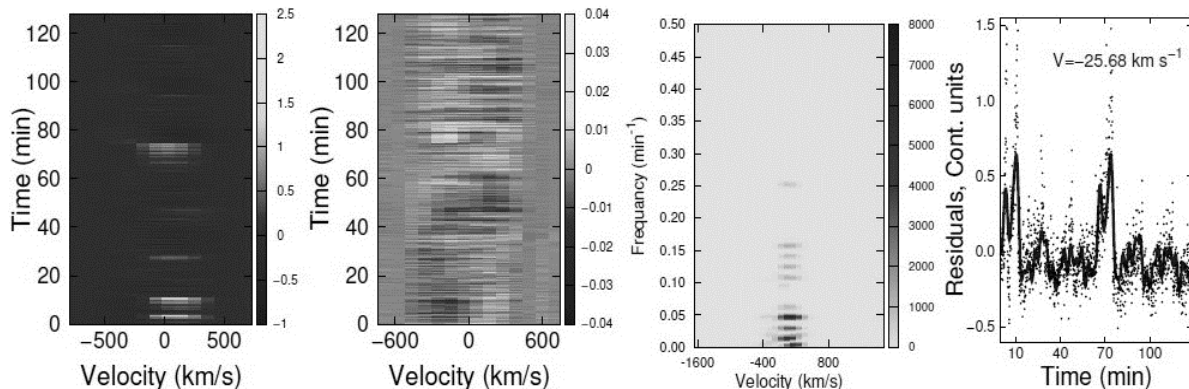


Рис. 1. Слева: динамические спектры вариаций профилей линий H_β и HeI 6888 в спектре γ Cas. Справа: Фурье-спектр вариаций профилей линий H_β и аппроксимация значений профиля линии H_β для доплеровского смещения от центра линии $V = -25.68$ км/с.

Фурье-анализ методом CLEAN [9] временных рядов этих разностных профилей линий в спектре γ Cas, соответствующих всем моментам наблюдений t_i , показал присутствие регулярных компонентов вариаций профилей линий в спектре звезды с периодами от 5 до 37 минут [10].

Подобные вариации профилей с периодами от 2 до 90 минут и амплитудами в 0.5–2% от уровня континуума были обнаружены у звезд типа γ Cas π Aqr [11] и HD 45995 [12]. У всех исследованных нами звезд типа γ Cas найдены регулярные вариации профилей линий с периодами от нескольких минут до 5–6 часов. Аппроксимация вариаций профилей линий в

спектрах γ Cas, полученных 17–18.09.2020 г. на 1.25-м телескопе, иллюстрируется на рис. 1 (справа).

Рентгеновские кривые блеска

Исследования рентгеновских спектров звезд типа γ Cas позволяют выяснить связь их оптической и рентгеновской переменности. К сожалению, отношение сигнал/шум в рентгеновских спектрах звезд типа γ Cas составляет только 10–20 даже для самой звезды γ Cas – самой яркой звезды этого типа, что не позволяет выявить переменность профилей рентгеновских линий γ Cas. В то же время переменность их рентгеновского блеска вполне заметна. К настоящему времени получено несколько десятков рентгеновских кривых блеска звезд типа γ Cas по наблюдениям на спутниках XMM и Chandra. В частности для яркой звезды этого типа HD 110432 (BZ Cru) выполнено 6 рентгеновских наблюдений.

Нами выполнен анализ рентгеновских кривых блеска этой звезды методом CLEAN Фурье-анализа. Для иллюстрации приведем на рис. 2 (слева) Фурье-спектр рентгеновских кривых блеска HD 110432, по наблюдениям на XMM 21.01.2003. Анализ этого наблюдения методом CLEAN дает 6 регулярных компонент с периодами от 5 ч 36 минут до 25 минут, как показано на рис. 2 (слева). Подобные регулярные компоненты обнаружены при анализе других наблюдений этой звезды.

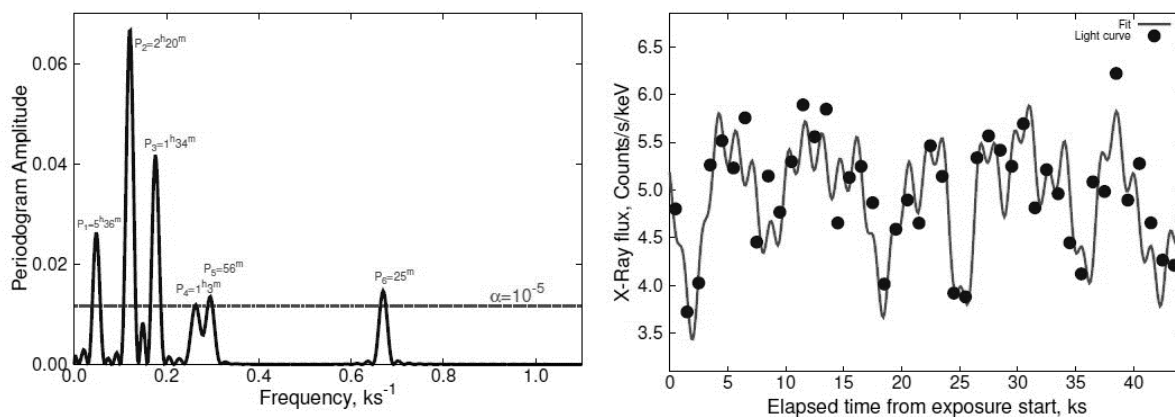


Рис. 2. Слева: Фурье-спектр рентгеновских кривых блеска HD 110432, по наблюдениям на спутнике XMM 21.01.2003 (ID 109480401). Пунктирная кривая соответствует уровню значимости $\alpha = 10^{-5}$. Справа: аппроксимация рентгеновской кривой блеска HD 110432 (точки) периодическими компонентами, показанными на левой панели (сплошная кривая).

Рентгеновские потоки всех анализируемых нами звезд типа γ Cas переменны на шкалах времени от нескольких минут до 5–6 часов и соответствуют характерным временам переменности в оптическом спектре [10–13] и типичным периодам нерадиальных пульсаций Be звезд [14]. Соответствие периодов оптической и рентгеновской переменности звезд типа γ Cas

показывает, что рентгеновское и оптическое излучение генерируются, по крайней мере, частично, в одной пространственной области. Так как оптическое излучение образуется либо на самой Ве звезде, либо в околозвездном декреционном диске, то рентгеновское излучение звезд данного типа формируется либо там же, либо в области между диском и фотосферой звезды.

Таким образом, из сравнения периодов переменности оптического и рентгеновского излучения звезд типа γ Cas можно сделать вывод о существенном вкладе предложенного в статье [8] механизма генерации рентгеновского излучения звезд типа γ Cas при взаимодействии локальных магнитных полей Ве звезды с декреционным диском в полное рентгеновское излучение этих звезд. Вопрос о вкладе в полный рентгеновский поток от звезд данного типа собственного излучения маломассивного спутника Ве звезды и/или горячего газа, формирующегося при аккреции вещества ветра Ве звезды на компактный компонент, остается открытым.

Настоящее исследование поддержано грантом РФФ 23-22-00090.

Литература

1. Naze Y., C. Motch, G. Rauw, et al. // MNRAS, 2020, 493, 2511
2. Grunhut J.H., G.A. Wade, and MiMeS Collaboration, in J.L. Hoffman, J. Bjorkman, B. Whitney (eds.), Stellar Polarimetry: from Birth to Death // Amer. Inst. Phys. Conf. Ser. 2012, **1429**, 67
3. ud-Doula A., S.P. Owocki, N.D. Kee // MNRAS, 2018, **478**, 3049.
4. Postnov K., L. Oskinova, J.M. Torreon // MNRAS, 2017, **465**, L119
5. Hamaguchi K., L. Oskinova, C.M.P. Russell, et al. // ApJ, 2016, **832**, 140
6. Ryspaeva E., Kholtygin A. // Open Astronomy, 2021, **30**, 132
7. Robinson R.D., M.A. Smith, G.W. Henry // ApJ, 2002, **575**, 435
8. Smith M.A., R. Lopes de Oliveira, C. Motch // Adv. Space Res., 2016, **58**, 782
9. Roberts D.H., J. Lehar, J.W. Dreher // Astron. J., 1987, 93, 968
10. Kholtygin A.F., M.A. Burlak, O.A. Tsiopa // Astron. Tsirk., 2021, No. 1649
11. Kholtygin A.F., M.A. Burlak, Yu.V. Milanova et al. // Astron. Tsirk., 2022, No. 1652
12. Холтыгин А.Ф., И.А. Якунин, М.А. Бурлак и др. // Астроф. Бюлл., 2023, в печати
13. Холтыгин А.Ф., Рыспаева Е.Б., Якунин И.А., Циона О.А. // Научные труды ИНАСАН, 2023, **8**, в печати
14. Rivinius Th., D. Baade, S. Stefl // A&A, 2003, 411, 229