

DOI: 10.54503/0571-7132-2023.66.2-257

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ CQ Tau НА ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ 125 ЛЕТ

В.П.ГРИНИН^{1,2}, Л.В.ТАМБОВЦЕВА¹, О.Ю.БАРСУНОВА¹,
Д.Н.ШАХОВСКОЙ³

Поступила 29 марта 2023

Звезда CQ Tau принадлежит семейству молодых звезд типа UX Ori и характеризуется очень сложным фотометрическим поведением и сложной структурой околос звездного окружения. В нашей статье на основе опубликованных фотометрических наблюдений построена кривая блеска этой звезды продолжительностью 125 лет. Из нее следует, что в изменениях блеска звезды кроме случайной составляющей, характерной для звезд типа UX Ori, присутствует также большая по амплитуде периодическая компонента с периодом 10 лет. Ее существование было заподозрено ранее. Новые наблюдения подтверждают ее реальность. Это указывает на существование в окрестности звезды второго компонента. Потоки вещества и волны плотности, вызванные движением компаньона, приводят к периодическим изменениям околос звездной экстинкции и блеска звезды. Этот результат обсуждается в контексте недавних наблюдений CQ Tau с высоким угловым разрешением.

Ключевые слова: *звезда типа UX Ori: фотометрическая активность:
периодические изменения*

1. *Введение.* Звезда CQ Tau ($Sp = F5\ IVe$, Мора и др. [1]) является одной из самых активных звезд типа UX Ori. Ее блеск в видимой области спектра непрерывно изменяется с амплитудой около 3^m . Звезда демонстрирует все признаки, характерные для звезд этого семейства, в том числе так называемый, эффект "поголубения", заключающийся в смещении показателей цвета звезды в минимумах блеска в голубую область спектра. Этот эффект впервые наблюдался именно у CQ Tau (Гетц и Венцель, [2]) и его первая интерпретация была основана на предположении, что эта звезда является двойной и имеет слабый голубой компаньон (Венцель [3]). Когда главный компонент экранируется околос звездным пылевым облаком, излучение голубого компаньона начинает доминировать. К гипотезе о двойственности CQ Tau мы еще вернемся в конце статьи, а пока отметим, что обнаружение аналогичного эффекта "поголубения" у других звезд типа UX Ori закрыло идею о двойственности, как возможной причине этого эффекта. Принятое сейчас объяснение этого эффекта предполагает, что источником голубого излучения звезд типа UX Ori является рассеянное излучение протопланетных дисков, вклад которого усиливается во время глубоких минимумов [4]. Подтверждением

этой модели послужили наблюдения высокой линейной поляризации в минимумах блеска этих звезд (см. [5] и цитированную там литературу). На основании этих наблюдений было высказано предположение, что околозвездные диски звезд типа UX Ori наклонены под небольшим углом к лучу зрения, что и является основной причиной их специфической переменности.

Это предположение было поддержано интерферометрическими наблюдениями (см. Креплин и др. [6]) и цитированную там литературу). Однако в случае CQ Tau ситуация оказалась сложнее. Интерферометрия в ближней инфракрасной (ИК) области спектра показала (Эйснер и др. [7]), что угол наклона внутренней области околозвездного диска к лучу зрения равен 42° , что противоречит статусу звезды типа UX Ori. Интерферометрические наблюдения в субмиллиметровом диапазоне спектра оказались еще более неожиданными. Они показали, что периферийная часть диска наблюдается почти с полюса (Чапиллон и др., [8]), и этот результат был подтвержден наблюдениями на интерферометре ALMA (Убейра-Габеллини и др. [9]).

Не менее сложна и многолетняя кривая блеска звезды (Миникулов и др. [10]; Шаховской и др. [11]; Гринин и др. [12]). По данным этих работ мы можем проследить за фотометрической активностью CQ Tau в течение около 100 лет. Первые наблюдения выполнялись фотографическим методом и из них следует, что в течение довольно длительного времени (около 50 лет) звезда была яркой и ее блеск флуктуировал в пределах $0^m.4$ – $0^m.7$ [12]). В середине прошлого века фотометрическая активность CQ Tau претерпела сильные изменения: у звезды стали наблюдаться глубокие минимумы блеска, с амплитудой до 2^m – 3^m . Кроме стохастической переменности в изменениях блеска звезды стали наблюдаться продолжительные циклы. Анализ фотометрического ряда показал (Шаховской и др. [11]), что у звезды наблюдаются два основных периода: около 20–21 года и примерно вдвое меньший, продолжительностью около 10 лет. После их удаления обнаружился еще один, более короткий период, продолжительностью около 3 лет.

Учитывая большую продолжительность циклов активности, для их подтверждения нужны новые наблюдения. Последнее по времени наблюдение блеска CQ Tau, использованное в статьях [11,12], было выполнено в 2003г. С тех пор прошло около 20 лет и появилась возможность продлить кривую блеска звезды. Ниже мы рассмотрим, что дает это наблюдение для изучения фотометрической активности CQ Tau и структуры ее ближайшего околозвездного окружения.

2. Историческая кривая блеска CQ Tau. На рис.1 показана кривая блеска звезды в полосе *B*, построенная по данным [10–12], дополненным новыми наблюдениями из баз данных ASAS и AAVSO. В тех случаях, когда

в течение одной ночи было выполнено несколько наблюдений, мы выбирали наиболее точное из них. Продолжительность новой порции наблюдений составила 18.3 года. С их учетом полная продолжительность кривой блеска CQ Tau равна 125 г. Кроме наблюдений, выполненных авторами указанных выше статей, при построении кривой блеска CQ Tau использовались также опубликованные наблюдения других авторов, ссылки на которые приведены в [11-12].

Как известно, наблюдения в базе данных ASAS и часть наблюдений AAVSO выполнялись в полосе V . Для трансформации этих наблюдений в полосу B мы воспользовались $UBVRI$ фотометрией Бердюгина и др. [13]. С помощью этих наблюдений была получена переходная функция, связывающая звездные величины CQ Tau в полосах B и V : $B = -0.18V^2 + 4.73V - 18.54$. Как показано в *Приложении*, это соотношение обеспечивает точность перехода от V к B около 5%. Этого вполне достаточно для наших целей, учитывая амплитуду изменений блеска звезды в 3 звездных величины.

Непосредственно из кривой блеска CQ Tau (рис.1) видно, что большой цикл фотометрической активности продолжительностью 20-21 лет в новых наблюдениях не прослеживается, тогда как 10-летний цикл, напротив, хорошо виден. Это подтверждает и периодограммный анализ фотометрически наиболее активной части кривой блеска звезды ($MJD > 35000$), представленный на рис.2. Он показывает наличие двух значимых периодов: 10 лет и 321.1 дня. Последний из них является годично-сопряженным к 10-летнему периоду и отражает наличие годовых перерывов в наблюдениях. Из рис.1 видно также, что первый двадцатилетний цикл был на самом деле результатом сложения двух десятилетних циклов. На следующем 20-и летнем интервале

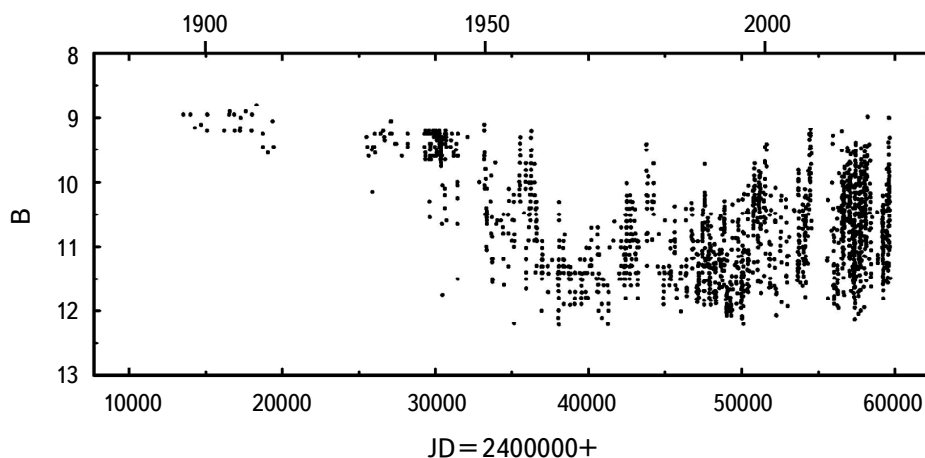


Рис.1. Сводная кривая блеска CQ Tau в полосе B по данным опубликованных наблюдений. Первое наблюдение было сделано в Москве в 1895г.

времени большой цикл еще заметен, но уже отчетливо видно, что он состоит из двух последовательных 10-летних циклов.

В периодограмме остатка после вычитания 10-летнего периода мы не нашли значимых следов трехлетнего периода, найденного в [11]). Таким образом, проведенный периодограммный анализ фотометрической активности CQ Тау в оптической области спектра подтвердил реальность только 10-летнего периода.

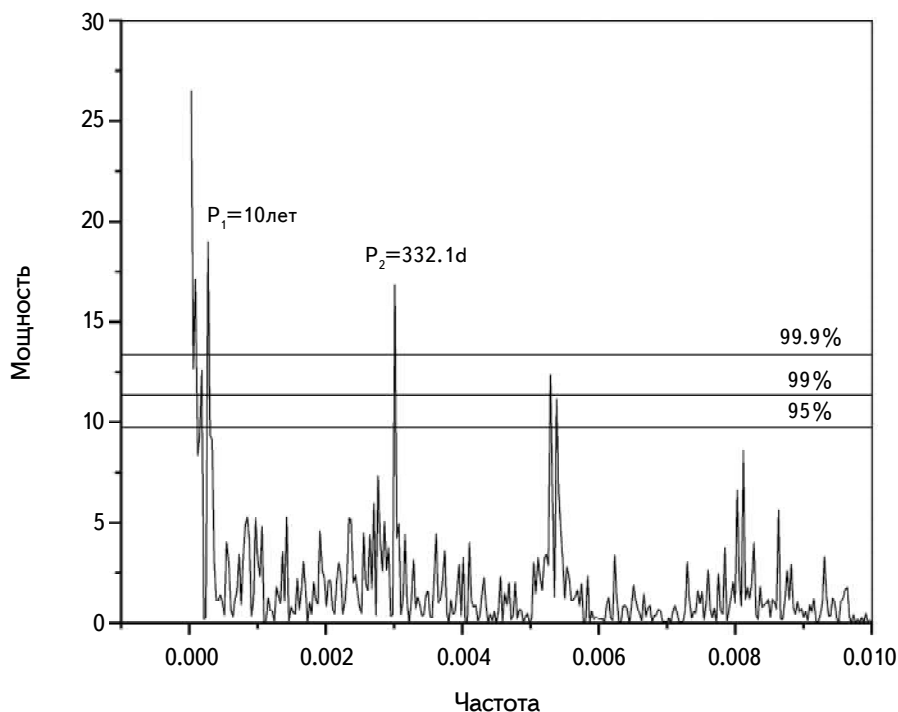


Рис.2. Периодограмма Ломб-Скэргла наиболее активной части ($JD > 35000$) фотометрического ряда CQ Тау.

На рис.3 показана свертка с периодом 10 лет оптической кривой блеска CQ Тау, начиная с $MJD = 35000$. Видно, что 10-летний период проявляется в основном в периодической модуляции блеска в ярком состоянии звезды и амплитуды минимумов. Из кривой блеска CQ Тау видно, что 10-летняя модуляция наблюдается на фоне многолетнего систематического увеличения внезатменного блеска звезды.

3. Обсуждение и заключение. Наличие 10-летнего периода фотометрической активности CQ Тау указывает на существование компаньона в окрестности звезды. Об этом же свидетельствуют результаты наблюдений CQ Тау с высоким угловым разрешением [9,14,15]. Они показали, что в центральной части протопланетного диска звезды имеется обширная полость

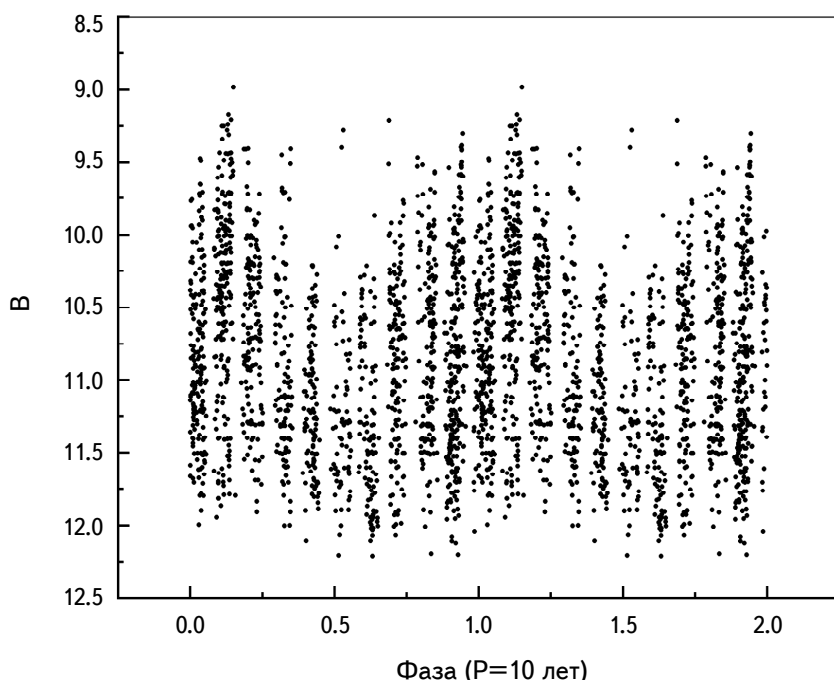


Рис.3. Свертка с периодом 10 лет фотометрически активной части кривой блеска CQ Tau.

слабо заполненная веществом. Такие полости образуются в молодых двойных системах под действием приливных возмущений, вызванных орбитальным движением компаньонов (Артимович и Любов [16]). Периодические возмущения приводят к образованию спиральных волн плотности, и они реально наблюдаются на изображениях диска CQ Tau [9,17-19]. Однако попытки обнаружить компаньон пока к успеху не привели [18].

По данным [9] полость в протопланетном диске CQ Tau простирается от 15 до 25 а.е. Выполненное этими авторами численное моделирование показало, что такая полость может быть образована планетой с массой $6-9 M_{\text{Юр}}$, движущейся по круговой орбите радиусом 20 а.е. При массе звезды $1.67 M_{\odot}$ орбитальный период планеты будет равен 69 годам, что находится в явном противоречии с фотометрическим периодом 10 лет.

Существует ли возможность устранить это противоречие? Мы полагаем, что такая возможность существует, если отказаться от предположения о круговой орбите компаньона и увеличить его массу. Согласно моделям Артимовича и Любова [16] в этом случае можно получить полость такого же размера при меньшем значении большой полуоси орбиты и соответственно, при меньшем периоде. Следует также иметь в виду, что по данным интерферометрии в ближней ИК области спектра (Эйснер и др. [7]) внутренний диск CQ Tau

наклонен относительно внешнего. Это означает, что орбита маломассивного компаньона также может быть наклонена относительно плоскости первичного диска. Эти вопросы мы планируем рассмотреть более детально в следующей статье. Остается также открытым главный вопрос: что случилось в окружении звезды, что привело к радикальному изменению ее фотометрической активности в середине прошлого века?

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства Высшего Образования и Науки РФ 075-15-2020-780. При построении кривой блеска CQ Тау использованы данные архивов ASAS и AAVSO.

¹ Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: vgsrao@mail.ru

² Астрономический институт им. В.В.Соболева, Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург, Россия

³ Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, Крым, Научный, Россия

ПРИЛОЖЕНИЕ

Как было отмечено выше, фотометрические наблюдения CQ Тау из архивов ASAS и AAVSO выполнялись преимущественно в одной полосе V . Чтобы использовать их при построении сводной кривой блеска CQ Тау в полосе B , мы определили переходные коэффициенты для трансформации блеска в полосе V к полосе B . Для этой цели были использованы фотометрические наблюдения CQ Тау из статьи Бердюгина и др. [13]. Они

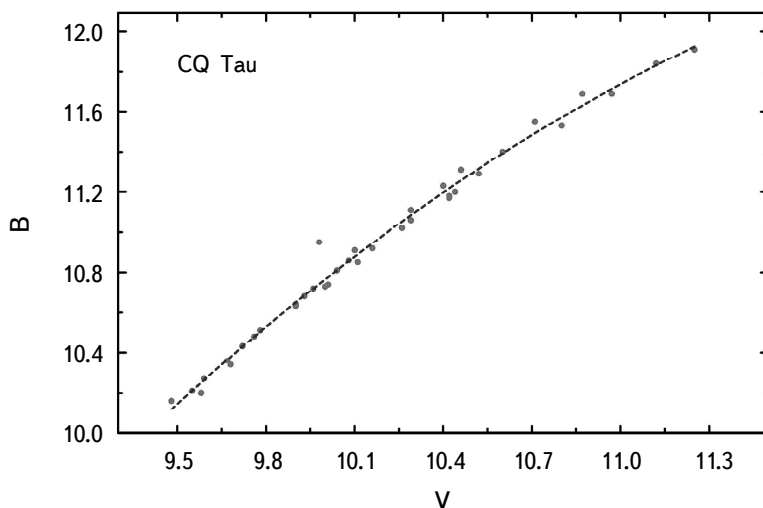


Рис.4. Звездные величины CQ Тау в полосах B и V по данным [13].

представлены на рис.4. Там же приведена пунктирная линия, определяемая полиномом второй степени, полученным при подгонке к наблюдениям методом наименьших квадратов.

Пунктирная линия на рис.4 определяет функциональную связь между величинами B и V и описывается соотношением: $B = -0.18V^2 + 4.73V - 18.54$. Видно, что точность перехода от V к B с помощью этого соотношения для большинства наблюдений, представленных на рис.2, не хуже $0^m.05$.

PHOTOMETRIC ACTIVITY OF CQ Tau FOR 125 YEARS

V.P.GRININ^{1,2}, L.V.TAMBOVTSEVA¹, O.Yu.BARSUNOVA¹,
D.N.SHAKHOVSKOY³

The star CQ Tau belongs to the UX Ori type star family. It has the very complex photometric behavior and complex structure of circumstellar environment. In this paper we constructed the historical 125 years light curve of this star on the base of the published photometric observations. It shows that besides a random component characteristic of UX Ori type stars, the large amplitude periodic component with the 10 year period is also present. Its existence was suspected earlier, and new observations support its reality. It points to an existence of the second component close to the star. The density waves and matter flows caused by the companion motion lead to periodic changes in the circumstellar extinction and brightness of the star. This result is discussed in context of the recent observations of CQ Tau with high angular resolution.

Keywords: *UX Ori type star: photometric activity: periodic changes*

ЛИТЕРАТУРА

1. A.Mora, B.Merin, E.Solano et al., Astron. Astrophys., **378**, 116, 2001.
2. W. von Gotz, W.Wenzel, Mitt. Verand. Sterne, **5**, 2, 1968.
3. W.Wenzel, in L.Detre (ed.), "Non-Periodic Phenomena in Variable Stars", IAU Colloq. (Budapest: Acad. Press), p.61, 19691.
4. V.P.Grinin, Sov. Astron. Lett., **14**, 27, 1988.

5. *V.P.Grinin, N.N.Kiselev, N.K.Minikulov et al.*, *Astrophys. Space Sci.*, **186**, 283, 1991.
6. *A.Kreplin, D.I.Madlener, L.Chen et al.*, *Astron. Astrophys.*, **590**, A96, 2016.
7. *J.A.Eisner, B.F.Lane, L.A.Hillenbrand et al.*, *Astrophys. J.*, **613**, 1049, 2004.
8. *E.Chapillon, S.Guilloteau, A.Dutrey et al.*, *Astron. Astrophys.* **488**, 565, 2008.
9. *M.G.Ubeira Gabellini et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **486**, 4638, 2019.
10. *N.Kh.Minikulov, V.Yu.Rakhimov, N.A.Volchkova et al.*, *Astrophysics*, **36**, 31, 1993.
11. *D.N.Shakhovskoi, V.P.Grinin, A.N.Rostopchina*, *Astrophysics*, **48**, 135, 2005.
12. *V.P.Grinin, O.Yu.Barsunova, S.Yu.Shugarov et al.*, *Astrophysics*, **51**, 1, 2008.
13. *A.A.Berdyugin, S.V.Berdyugina, V.P.Grinin et al.*, *Soviet Astron.*, **34**, 408, 1990.
14. *A.Tripathi, S.M.Andrews, T.Birnstiel et al.*, *Astrophys. J.*, **845**, 44, 2017.
15. *L.Wolfer, S.Facchini, N.T.Kurtovic et al.*, *Astron. Astrophys.*, **648**, A19, 2021.
16. *P.Artymowicz, S.H.Lubow*, *Astrophys. J.*, **421**, 651, 1994.
17. *T.Uyama, T.Muto, D.Mawet et al.*, **159**, 118, 2020.
18. *I.Hammond, V.Christiaens, D.J.Price et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **515**, 6109, 2022.
19. *B.S.Safonov, I.A.Strakhov, M.V.Goliguzova et al.*, *Astron. J.*, **163**, 31, 2022.