

О КРУПНОМАСШТАБНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД ТИПА UX ORI

В.П.ГРИНИН^{1,2}, О.Ю.БАРСУНОВА¹, С.Ю.ШУГАРОВ^{3,4},
П.КРОЛЛ⁵, С.Г.СЕРГЕЕВ²

Поступила 31 августа 2007

На примере кривых блеска двух звезд типа UX Ori - CQ Tau и V1184 Tau - обсуждается проблема радикальной перестройки фотометрической активности молодых звезд, обусловленной резкими изменениями околозвездной экстинкции. Такие изменения могут быть обусловлены значительными отклонениями от аксиальной симметрии в распределении околозвездной пыли, а также сильными изменениями темпа аккреции вещества в околозвездных дисках. Появление большого количества пыли в окрестности молодой звезды может быть также результатом столкновения планетозималей.

Ключевые слова: *звезды: активность - объекты: типа UX Ori*

1. *Введение.* Ряд наблюдательных характеристик молодых звезд, таких как инфракрасные (ИК) избытки, собственная поляризация и некоторые другие, связан с существованием вокруг них околозвездных газопылевых дисков. Околозвездная пыль, неравномерно распределенная в околозвездном пространстве, может приводить к изменениям околозвездной экстинкции и, как следствие, к переменной блеска молодой звезды. В наиболее яркой форме этот тип переменной блеска молодой звезды типа UX Ori. С помощью синхронных наблюдений линейной поляризации и блеска этих звезд было установлено (см. обзор [1] и цитированную там литературу), что главной причиной их бурной фотометрической активности является небольшой угол наклона околозвездных дисков к лучу зрения¹. В результате из-за движения околозвездного вещества количество пыли на луче зрения непрерывно меняется, что отражается на изменениях блеска звезды. Таким образом, изучение фотометрической активности звезд типа UX Ori на больших интервалах времени дает ценную (и во многом уникальную) информацию о структуре и динамическом состоянии околозвездных дисков молодых звезд.

Анализ фотометрических рядов наблюдений звезд типа UX Ori показывает, что на характерных временах от нескольких дней до

¹ Такая ориентация звезд типа UX Ori подтверждается также интерферометрическими наблюдениями в ближней ИК области спектра (см., например, [2]).

нескольких месяцев переменность их блеска носит случайный характер¹. На больших интервалах времени - месяцы и годы - часто наблюдаются волнообразные изменения блеска [4]. У ряда звезд они имеют периодический характер [5-11], в отдельных случаях обнаружено присутствие на кривых блеска одновременно двух периодов [8,11]. Это говорит о том, что в околозвездных дисках таких звезд существуют достаточно устойчивые, газопылевые структуры. Обращаясь вместе с околозвездными дисками вокруг звезд, они пересекают через определенные промежутки времени луч зрения, вызывая периодические изменения экстинкции и, как следствие, периодические вариации блеска звезд. Появление таких структур может быть вызвано периодическими гравитационными возмущениями в окрестностях молодой звезды, обусловленными либо ее двойственностью, либо начавшимся процессом образования планетной системы [7,11-14].

Наряду с этим, анализ продолжительных фотометрических рядов показывает, что у некоторых звезд типа UX Ori может наблюдаться радикальная смена уровня фотометрической активности: звезда в течение некоторого (иногда довольно продолжительного) времени вообще не меняет свой блеск, либо меняет его в небольших пределах, после чего наступает фаза бурной фотометрической активности, обусловленной резким увеличением концентрации пыли на луче зрения. Наблюдается и обратная картина, когда после сильных и частых алголеподобных ослаблений блеска звезда на некоторое время "успокаивается". В данной заметке на примере кривых блеска двух звезд типа UX Ori - CQ Tau и V1184 TAU - рассматривается именно такой тип фотометрической активности и обсуждаются ее возможные причины.

2. Кривые блеска CQ Tau и V1184 Tau. На рис.1 представлена историческая кривая блеска Ae-звезды Хербига CQ Tau на интервале времени с 1895 по 2003г., построенная по данным работ [11,15], которые нами были дополнены данными фотографических наблюдений этой звезды, проводившихся в Зоннебергской астрономической обсерватории с 1928 по 1958г. (110 ночей), а также наблюдениями из архива ГАИШ (82 ночи)². Кроме того, одним из авторов настоящей статьи (С.Ш.) были заново пересмотрены и уточнены данные фотографических наблюдений CQ Tau из архива ГАИШ, использованные в работах [11,15] и охватывающие интервал времени с 1939 по 1957г. Оказалось, что предыдущие измерения, сделанные в [11] Н.А.Волчковой, давали завышенные (иногда на 1 звездную величину) значения блеска звезды. Следует отметить, что все фотографические наблюдения были получены

¹ У некоторых звезд типа UX Ori обнаружены маломасштабные колебания блеска с периодами порядка нескольких десятков минут, обусловленные пульсациями звезд [3].

² Первые фотографические наблюдения CQ Tau были выполнены в Москве 17 декабря 1985г.

на несенсибилизированной эмульсии без фильтра, т.е. в фотографических, синих лучах. Поэтому фотометрическая система этих наблюдений наиболее близка к *B* Джонсона, к которой и были привязаны все наши наблюдения.

Несмотря на скудость наблюдательных данных на начальном этапе исследований CQ Тау, из рис.1 видно, что поведение блеска звезды в первой половине XX века сильно отличается от ее последующей фотометрической истории: в конце XIX века, и примерно, до середины XX

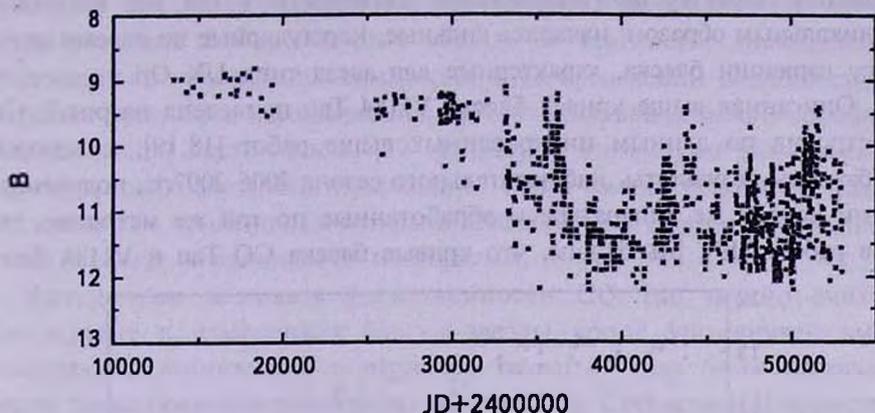


Рис.1. Историческая кривая блеска CQ Тау с 1895 по 2003гг. по данным архивных фотографических и опубликованных фотозлектрических наблюдений.

века CQ Тау была фотометрически малоактивной звездой, блеск которой флуктуировал вблизи $B=9^m$. (Следует подчеркнуть, что несмотря на малые размеры телескопов, с помощью которых проводились фотографические наблюдения в Москве и Зоннеберге, предельные звездные величины даже на самых ранних фотопластинках были около 13-14^m. Поэтому отсутствие глубоких ослаблений блеска CQ Тау в эту эпоху никак не связано с малой чувствительностью аппаратуры, использовавшейся в те годы). Затем наступила фаза бурной фотометрической активности, характеризующаяся сильными ослаблениями блеска с амплитудой $\Delta B \approx 3^m$. Эта активная фаза продолжается до сих пор и, как показано в [16], обусловлена изменениями околосредней экстинкции. В поведении блеска в эту эпоху отчетливо видна циклическая составляющая с характерным периодом около 21 года. Этот цикл повторился уже дважды и каждый раз максимальный блеск CQ Тау приближался к уровню блеска, наблюдавшемуся у звезды сто лет назад. Как видно из рис.1, переходный период между двумя описанными выше фотометрическими состояниями звезды был непродолжительным и составил около 20-ти лет.

Другой пример резкой смены характера фотометрической активности демонстрирует звезда типа WTTs (weak T Tauri star) V1184 Тау. Изучение старых фотографических пластинок показало [17], что между 1951 и

1993гг. эта звезда увеличила свой блеск примерно на 4^m , на основании чего она была отнесена к классу фуоров. Однако в 2003г. V1184 Тау внезапно стала слабеть и в течение полугода ее блеск понизился примерно на 4 звездных величины в полосе I [18]. При этом на диаграмме цвет-величина ($V-I$)/ I намечился поворот цветового трека, аналогичный наблюдаемому у звезд типа UX Ori [1], который был подтвержден последующими наблюдениями [19]. Они показали, что, начиная с этого момента, характер фотометрической активности V1184 Тау изменился радикальным образом: начались сильные, нерегулярные по своему характеру вариации блеска, характерные для звезд типа UX Ori.

Описанная выше кривая блеска V1184 Тау приведена на рис.2. Она построена по данным цитированных выше работ [18,19], к которым добавлены результаты наблюдательного сезона 2006-2007гг., полученные нами на той же аппаратуре и обработанные по той же методике, что и в работе [19]. Мы видим, что кривые блеска CQ Тау и V1184 Тау в

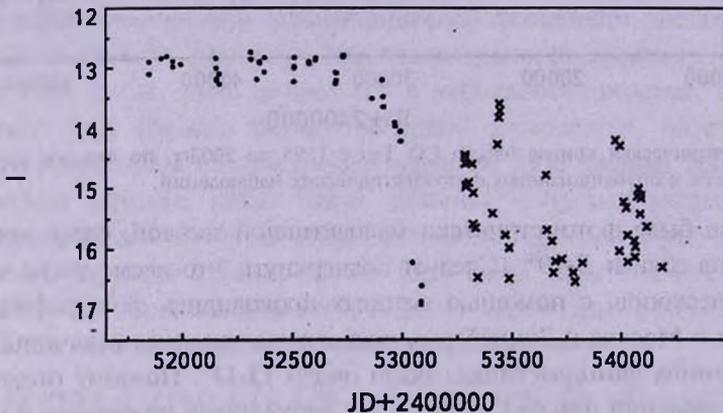


Рис.2. Кривая блеска V1184 Тау в полосе I : кружки - по данным [18], крестики - по данным [19], дополненным наблюдениями 2007-2008гг.

общих чертах похожи друг на друга. В обоих случаях спокойная фаза активности, в течение которой блеск звезд флуктуировал вблизи яркого состояния, сменилась бурной фотометрической активностью, характерной для самых активных звезд типа UX Ori. При этом переходный период между активной и неактивной фазами поведения блеска в случае V1184 Тау был довольно коротким и продолжался всего около полугода.

3. *Обсуждение.* В литературе, посвященной фотометрической активности молодых звезд, можно найти и другие примеры молодых объектов, у которых наблюдались значительные по амплитуде изменения уровня активности, обусловленные изменениями околосредной экстинкции (см. например, кривую блеска V1686 Суг в [5]), но на приведенных выше кривых блеска CQ Тау и V1184 Тау такие изменения

видны в наиболее отчетливой форме. Они свидетельствуют о том, что количество околозвездной пыли, находящейся между наблюдателем и молодой звездой, может испытывать сильные изменения со временем. Такие изменения могут происходить достаточно быстро (блеск V 1184 Тау упал более, чем на 4^m , в течение всего лишь нескольких месяцев) и, в то же время, носить долговременный характер.

Очевидно, что крупномасштабные изменения околозвездной экстинкции могут быть вызваны крайне неравномерным распределением околозвездной пыли в окрестностях звезды. В частности, значительные отклонения от аксиальной симметрии в распределении околозвездного вещества могут быть инициированы орбитальным движением компаньона или массивной протопланеты [12-14,20,21]. В этом случае значительные вариации околозвездного поглощения могут быть следствием квази-кеплеровского вращения азимутально неоднородных слоев околозвездного диска и могут периодически повторяться.

Аргументом в пользу двойственности CQ Тау можно считать присутствие в изменениях блеска звезды кроме упомянутой выше циклической компоненты с периодом около 21 года более короткого цикла продолжительностью около 2.7 года [15]. Согласно [14] существование двух мод периодических изменений экстинкции на луче зрения с отношением периодов порядка 5-8 возможно в молодой двойной системе, аккрецирующей вещество из остатков протозвездного облака и наблюдаемой под небольшим углом к ее плоскости. При этом короткий цикл соответствует орбитальному движению компаньонов и обусловлен поглощением излучения главного компонента газопылевыми потоками, периодически проникающими внутрь двойной системы, тогда как медленный цикл обусловлен движением волн плотности в окружающем двойную систему общем диске. Кроме этих двух циклов проведенные в [14] расчеты выявили существование еще одного цикла в изменениях колонковой плотности пыли на луче зрения продолжительностью в несколько сотен орбитальных периодов, обусловленного прецессией общего асимметричного диска. Оказалось, что в результате такой прецессии могут возникнуть ситуации, когда количество пыли на луче зрения уменьшается практически до нуля и блеск двойной системы стабилизируется на некоторое время вблизи состояния максимальной яркости, определяемого светимостью компонентов.

Таким образом, чередование спокойного яркого состояния и фотометрически активного ослабленного состояния является свойством, присущим молодым двойным системам, наклоненным под небольшим углом к лучу зрения. Однако такой подход вряд ли годится для объяснения наблюдавшейся в середине прошлого столетия резкой смены характера

активности CQ Тау. Дело в том, что согласно [14], длительность переходного периода между такими состояниями порядка нескольких десятков орбитальных периодов и, если принять, что в случае CQ Тау орбитальный период равен 2.7 года, то переход от стабильного яркого состояния к фотометрически активному ослабленному состоянию должен был бы продолжаться около ста лет, тогда как на самом деле он был в несколько раз короче. Таким образом, кривая блеска CQ Тау лишь частично находит свое объяснение в рамках модели молодой двойной системы.

В случае звезд типа UX Ori вывод о том, что околозвездные диски этих звезд наклонены под небольшим углом к лучу зрения, сделан на основе наблюдений высокой линейной поляризации в глубоких минимумах блеска [1]. Поляризационные наблюдения V1184 Тау, насколько нам известно, до сих пор не проводились. Известно, однако, что эта звезда вращается с весьма высокой скоростью: $V \sin i = 145$ км/с [22], которая существенно превышает скорость вращения звезд типа Т Тельца, но близка по порядку величины к скоростям вращения, характерным для звезд типа UX Ori [23]. Поэтому нет сомнений в том, что околозвездный диск этой звезды (если он существует) должен быть лишь слегка наклонен к лучу зрения. Необычно глубокое ослабление блеска и последовавшая за ним бурная фотометрическая активность V1184 Тау были обусловлены появлением на луче зрения мощного газопылевого потока околозвездного вещества, имевшего резкий передний фронт и сложную неоднородную структуру.

Мы не нашли каких-либо намеков на присутствие периода в изменениях блеска V1184 Тау в ослабленном состоянии, который указывал бы на ее возможную двойственность¹. Известно, однако [24,25], что эта звезда имеет большой инфракрасный (ИК) избыток в ближней ИК области спектра (полосы JHK), который не характерен для звезд типа WTTS, и который некоторые авторы приписывают холодному вторичному компоненту [25]. Известно также [24], что по данным Паломарского атласа, полученным в 1951г., V1184 Тау в момент наблюдений находилась в ослабленном состоянии, подобном тому, которое наблюдается сейчас. Таким образом, на временной шкале около 50-ти лет V1184 Тау как минимум дважды оказалась в состоянии сильно ослабленного блеска. В сочетании с аномально большим ИК-избытком это делает гипотезу о наличии у этой звезды инфракрасного компаньона довольно правдоподобной. Если принять интервал времени между повторными прохождениями вокруг звезды гигантской газопылевой структуры, вызвавшей затмения, равным 50-ти годам, то при

¹ По данным [22] в ярком состоянии у V1184 Тау наблюдалась вращательная модуляция блеска с периодом $2^d.37$, обусловленная неоднородной (пятнистой) структурой атмосферы звезды.

массе звезды $2 M_{\odot}$ [25], радиус ее орбиты должен быть около 15 а.е. При расстоянии до звезды 1 кпс [26] это соответствует угловому размеру порядка 0.02 угловой секунды.

Крупномасштабные изменения околозвездной экстинкции могут быть вызваны также другими причинами, например, сильными изменениями темпа аккреции. Такие изменения могут возникнуть в результате развития неустойчивостей в аккреционном диске. Возможны разные виды неустойчивостей (гравитационная, магнитная и др.). Некоторые из них привлекались для объяснения вспышек фуоров (см., например, [26]). Наглядным проявлением сильной нестабильности процесса аккреции могут служить высокоскоростные узко-коллимированные джеты, в которых часто видны следующие друг за другом плотные сгустки вещества (см., например, [27,28]). Не исключена, наконец, возможность быстрого образования пыли в окрестностях молодой звезды при столкновениях планетозималей. Такой механизм в настоящее время обсуждается в связи с обнаружением горячей пыли в окрестностях некоторых звезд Главной последовательности (см., например, [29] и цитированную там литературу).

Таким образом, хотя в настоящее время существует ясное понимание причинной связи между изменениями околозвездной экстинкции и фотометрической активностью звезд типа UX Ori, мы не можем пока однозначно сказать, чем вызваны крупномасштабные изменения экстинкции, наблюдаемые на больших характерных временах у многих звезд этого семейства. Очевидно, что в случае таких звезд как SQ Tau дальнейшее наращивание фотометрических наблюдений не в состоянии в обозримом будущем внести ясность в этот вопрос, поскольку для этого потребуется как минимум несколько десятилетий. Остается единственный путь - получение изображений околозвездных дисков с высоким пространственным разрешением с помощью телескопов - интерферометров, подобных строящемуся сейчас радиоинтерферометру ALMA.

Авторы благодарны Е.Н.Копачкой за полезные замечания. Работа выполнена по программе Президиума РАН "Происхождение и эволюция звезд и галактик" при поддержке гранта ИНТАС 03-51-6311.

¹ Главная астрономическая обсерватория РАН (Пулково), С.-Петербург, Россия, e-mail: grinin@gao.spb.ru

² Крымская астрофизическая обсерватория, Крым, Научный, Украина

³ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, МГУ, Москва, Россия,

⁴ Астрономический Институт Словацкой Академии Наук, Татранска Ломница, Словакия,

⁵ Зоннебергская астрономическая обсерватория, Зоннеберг, Германия

ON THE LARGE-SCALE PHOTOMETRIC ACTIVITY OF THE UX ORI TYPE STARS

V.P.GRININ^{1,2}, O.YU.BARSUNOVA¹, S.YU.SHUGAROV^{3,4},
P.KROLL⁵, S.G.SERGEEV²

Using light curves of the two UX Ori type stars CQ Tau and V1184 Tau, we discuss the problem of the radical reconstruction of the photometric activity in the young stars caused by abrupt changes in the circumstellar (CS) extinction. Such changes may be due to substantial deviations in the CS dust distribution from the axial symmetry as well as due to strong variations in the accretion rate of the matter in the CS disks. An appearance of the large amount of the dust in the vicinity of the young star may be also caused by collisions of the planetesimals.

Key words: *stars: activity - individual: UX Ori type*

ЛИТЕРАТУРА

1. V.P.Grinin, Disks, Planetesimals and Planets (Eds. F.Garzon, C.Eiroa, D. de Winter, T.J.Mahoney, ASP Conference Proceedings, Vol. 219, Astronomical Society of the Pacific, 2000), p.216.
2. J.A.Eisner, B.F.Lane, L.A.Hillenbrand, R.L.Akeson, A.I.Sargent, *Astrophys. J.*, **613**, 1049, 2004.
3. S.Stahler, F.Palla, *The Formation of Stars*, (Weihem: Vley-VCH), 2004.
4. В.П.Цесевич, Б.А.Драгомирецкая, *Звезды типа RW Возничего*, Киев, Наукова Думка, 1973.
5. V.S.Shevchenko, K.Grankin, M.Ibragimov et al., *Astrophys. Sp. Sci.*, **202**, 121, 1993.
6. В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина, Д.Н.Шаховской, *Письма в Астрон. ж.*, **24**, 925, 1998.
7. А.Н.Ростопчина, В.П.Гринин, Д.Н.Шаховской, *Письма в Астрон. ж.*, **25**, 291, 1999.
8. А.Н.Ростопчина, В.П.Гринин, Д.Н.Шаховской, П.С.Тэ, Н.Х.Миникулов, *Астрон. ж.*, **77**, 420, 2000.
9. W.Herbst, V.S.Shevchenko, *Astron. J.*, **118**, 1043, 1999.
10. C.Bertout, *Astron. Astrophys.*, **363**, 984, 2000.
11. Д.Н.Шаховской, В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина, *Астрофизика*, **48**, 165, 2005.
12. В.П.Гринин, Л.В.Тамбовцева, *Письма в Астрон. ж.*, **28**, 667, 2002.
13. В.П.Гринин, Л.В.Тамбовцева, Н.Я.Сотникова, *Письма в Астрон. ж.*, **30**, 764, 2004.

14. *Н.Я.Сотникова, В.П.Гринин*, Письма в Астрон. ж., 33, 667, 2007.
15. *Н.Х.Миникулов, В.Ю.Рахимов, Н.А.Волчкова*, Астрофизика, 36, 55, 1993.
16. *А.А.Бердюгин, С.В.Бердюгина, В.П.Гринин, Н.Х.Миникулов*, Астрон. ж., 67, 812, 1990.
17. *J.Alves, L.Hartmann, C.Briceno, Ch.J.Lada*, Astron. J., 113, 1395, 1997.
18. *E.Semkov*, Astron. Astrophys., 419, L59, 2004.
19. *О.Ю.Барсунова, В.П.Гринин, С.Г.Сергеев*, Письма в Астрон. ж., 32, 924, 2006.
20. *L.M.Ozernoy, N.N.Gorkavyy, J.C.Mather, T.A.Taidakova*, Astrophys. J., 537, L147, 2000.
21. *M.C.Wyatt*, Astrophys. J., 639, 1153, 2006.
22. *S.Tackett, W.Herbst, E.Williams*, Astron. J., 126, 348, 2003.
23. *В.П.Гринин, О.В.Козлова*, Астрофизика, 43, 329, 2000.
24. *J.L.Yun, J.L.Moreira, J.F.Alves, J.Storm*, Astron. Astrophys., 320, 167, 1997.
25. *J.Alves, L.Hartmann, C.Briceno, Ch.J.Lada*, Astron. J., 113, 1395, 1997.
26. *L.Hartmann, S.J.Kenyon*, Astrophys. J., 299, 462, 1985.
27. *A.P.Goodson, К.-Н.Бöhm, R.M.Winglee*, Astrophys. J., 524, 142, 1999.
28. *A.M.Watson, K.R.Stapelfeldt*, Astron. J., 133, 845, 2007.
29. *M.C.Wayatt, R.Smith, J.S.Greaves et al.*, Astrophys. J., 658, 569, 2007.