

ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДИ МАССИВНЫХ Ве-ЗВЕЗД ХЕРБИГА: HD 200775 и HD 53367

М. А. Погодин¹, Н. Г. Бескровная¹, А. С. Мирошниченко²,
В. П. Маланушенко³, О. В. Козлова³, Т. Н. Тарасова³, А. Е. Тарасов³,
В. Г. Клочкова⁴, Г. А. Чунтонов⁴, М. В. Юшкин⁴, N. Manset⁵,
K. S. Vjorkman⁶, N. D. Morrison⁶, J. P. Wisniewski⁶, G. A. P. Franco⁷

© 2009

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140 Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65
e-mail: pogodin@gao.spb.ru

² The University of North Carolina, Greensboro, NC, 23402-6170, USA

³ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, п. Научный, Крым, 98409, Украина

⁴ Специальная астрофизическая обсерватория РАН
п. Н. Архыз, Карачаево-Черкесская Республика, 369167, Россия

⁵ CFHT Corporation, 65-1238, Kamuela, HI-96743, Hawaii, USA

⁶ Ritter Observatory, The University of Toledo, Toledo, OH 43606-3390, USA

⁷ Departamento de Fisica - ICEx - UFMG, Belo Horizonte, Brazil

Мы представляем результаты спектроскопического исследования двух массивных Ве-звезд Хербига, проведенного в 1994–2003 гг. на телескопах нескольких крупнейших обсерваторий мира. Основной материал был получен на 2.6-м телескопе Шайна в Крымской астрофизической обсерватории (Украина). Ве-звезда Хербига HD 200775 демонстрирует циклические крупномасштабные изменения эквивалентной ширины эмиссионной линии H_{α} с периодом 1345 дней. Мы детально исследовали характер изменений профиля за два полных цикла переменности и по поведению бисекторной лучевой скорости на уровне $2 F_c$ установили, что он соответствует характерной орбитальной кривой для эксцентрической орбиты с $e = 0.3$. Были также определены основные параметры орбитального движения и компонентов системы. Для второго объекта (HD 53367, В0е) был обнаружен период изменения лучевых скоростей линий атмосферы ($P = 183$ дня) по длинному ряду наблюдений с использованием спектрометров высокого разрешения с 1994 по 2003 год. Анализ кривой этих изменений подтвердил двойственность объекта, представляющего собой систему из двух молодых звезд (20 и 5 масс Солнца) с эксцентриситетом орбиты $e = 0.28$.

ВВЕДЕНИЕ

Ае/Ве-звезды Хербига – это молодые звезды спектральных классов А–В с эмиссионными линиями, имеющие массы от 2 до 10 и более масс Солнца и находящиеся на стадии эволюции до главной последовательности [5]. Они окружены реликтовыми аккреционными дисками, проявляющими себя в виде избытка излучения в дальней инфракрасной (ИК) области спектра ($\lambda \geq 10$ мкм), связанного с тепловым излучением холодной пыли в удаленных областях диска.

Для этих объектов характерна спектральная переменность, наблюдающаяся в линиях оболочки, которая стала предметом исследования еще в начале 20-го столетия. В спектрах ряда Ае/Ве-звезд Хербига обнаруживаются признаки двойственности, которая может стать одним из важных стимуляторов наблюдающейся у них активности.

В настоящей работе представлены результаты нашего многолетнего исследования двух таких систем: HD 200775 и HD 53367. Их главными компонентами являются горячие массивные Ве-звезды, а их спектральная переменность носит периодический характер, анализ которой позволяет определить параметры орбитального движения и самих компонентов системы. В случае HD 200775 предметом анализа был профиль эмиссионной линии H_{α} , а в случае HD 53367 – лучевые скорости атмосферных линий $He I \lambda 6678 \text{ \AA}$ и $O II \lambda 6641 \text{ \AA}$.

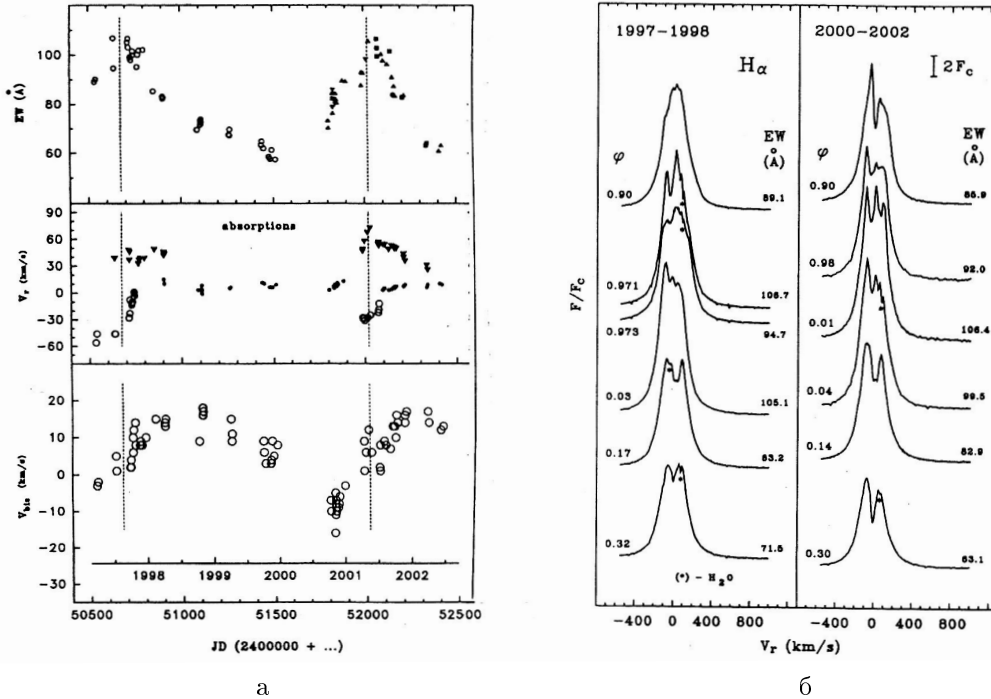


Рис. 1. *а* – Изменения параметров профиля эмиссионной линии H_{α} в спектре HD 200775: эквивалентной ширины (EW), лучевой скорости локальных абсорбционных компонентов (V_r) и бисекторной лучевой скорости линии (V_{bis}) на уровне F_c (непрерывный спектр). *б* – Характерный вид профиля линии H_{α} на разных фазах 1345-дневного периода в разные сезоны наблюдений. Фаза $\varphi = 0$ соответствует положению максимума EW

HD 200775

Звезда HD 200775 (MWC 361, B2 Ve) является самым ярким объектом в области отражательной туманности NGC 7023, где наблюдаются также десятки маломассивных молодых объектов типа T Tauri и протозвезд, видимых только в ИК-диапазоне. Кроме того, объект ассоциируется с молекулярным (CO) облаком, ориентированным под углом $i \sim 70^\circ$ [11].

В спектре объекта присутствует интенсивная эмиссионная линия H_{α} , которая обычно имеет двойной профиль. Но, как показали результаты нашей спектроскопии в 1986–1990 гг. [3], в отдельные даты эмиссия в линии резко усиливается, а профиль приобретает вид одиночного широкого пика с наложенными на него несколькими локальными абсорбционными компонентами. Несколькими годами позже, в работе [6], где были собраны все данные, опубликованные к тому времени, было показано, что глобальные изменения эквивалентной ширины (EW) эмиссионной линии H_{α} носят циклический характер с периодом $P = 1345 \pm 2$ дня. Чтобы подтвердить этот факт и исследовать более детально поведение линии H_{α} в спектре HD 200775, мы провели в 1994–2002 гг. кооперативную программу наблюдений этого объекта на телескопах различных обсерваторий со спектральной аппаратурой высокого разрешения: ЗТШ 2.6-м ($R = 20\,000$), БТА 6-м (R от 15 000 до 60 000), 1-м телескоп обсерватории Риттера, США ($R = 26\,000$), 2.1-м телескоп обсерватории McDonald, США ($R = 60\,000$), 3.6-м телескоп CFHT, Гавайи, США ($R = 100\,000$) и 1.93-м телескоп обсерватории Haute-Provence, Франция ($R = 42\,000$) [8, 9]. Всего за весь период было получено около 100 спектров. На рис. 1, *а* показано, что максимумы эквивалентной ширины (EW) линии H_{α} наблюдались строго в те моменты времени, которые были предсказаны ранее в работе [6], а вид профиля линии на одних и тех же фазах 1345-дневного периода в разные сезоны наблюдений носил идентичный характер (рис. 1, *б*). Обращают на себя внимание фазовые изменения бисекторной лучевой скорости линии V_{bis} , измеренной в эмиссионных крыльях на уровне $2F_c$ (непрерывный спектр). Эти крылья формируются во внутренних частях аккреционного диска, а величина V_{bis} соответствует лучевой скорости центра вращения диска относительно Солнечной системы, то есть – гелиоцентрической скорости самой звезды. По характеру изменений этот параметр демонстрирует фазовую кривую, подобную типичным кривым лучевых скоростей компонентов двойных систем. Мы провели аппроксимацию

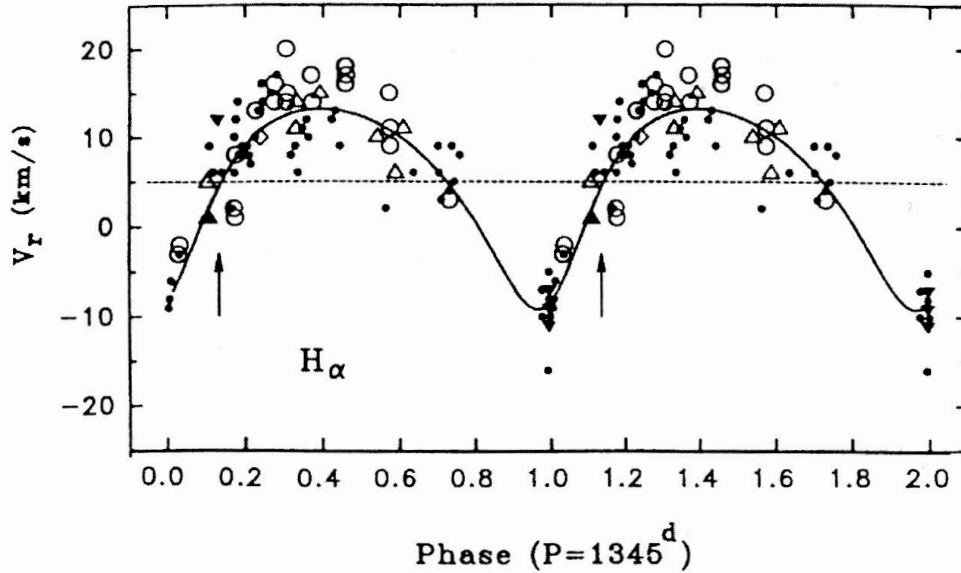


Рис. 2. Фазовая зависимость бисекторной лучевой скорости V_{bis} (уровень $2F_c$) для периода 1345 дней. Разными значками отмечены значения скоростей, полученные на разных обсерваториях. Вертикальная стрелка соответствует фазе максимума EW

наблюдаемой фазовой кривой теоретической (рис. 2) и получили значения параметров орбиты двойной системы, приведенные в левом столбце таблицы 1. Впоследствии двойственность HD 200775 была подтверждена другими исследователями, результаты интерферометрического исследования [7] и эшелеспектроскопии [2] приведены соответственно во втором и третьем столбцах таблицы. Можно видеть хорошее совпадение результатов всех трех работ в пределах точности определения орбитальных параметров.

Оценить массу второго компонента мешает отсутствие точной информации об угле наклона орбиты i . Если принять, что ориентация орбиты соответствует ориентации наблюдаемого молекулярного облака ($i \approx 70^\circ$), то из функции масс можно получить массу второго компонента $M_2 \approx 3.5$ солнечной массы ($M_1 \approx 10$ масс Солнца). При меньших значениях i масса второго компонента должна быть больше.

Наблюдающуюся циклическую переменность H_α профиля можно качественно объяснить взаимодействием внешних частей дисков каждого из компонентов системы при их сближении.

Таблица 1. Параметры орбиты системы HD 200775 по результатам разных работ

| Параметр | Pogodin et al. (2004) | Monnier et al. (2006) | Alecian et al. (2008) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| P (дни) | 1341 ± 23 | 1377 ± 25 | 1412 ± 54 |
| T_0 (JD) | 2449149 ± 87 | 2449152 ± 90 | 2448991 ± 152 |
| e | 0.29 ± 0.07 | 0.30 ± 0.06 | 0.32 ± 0.06 |
| ω ($^\circ$) | 203 ± 22 | 224 ± 16 | 216 ± 16 |
| i ($^\circ$) | – | 65 ± 8 | 48 ± 15 |

HD 53367

Объект HD 53367 (MWC 166, B0–B1III Ve) расположен в обширном районе звездообразования CMaR1, содержащем более 100 молодых объектов различного типа. Он демонстрирует глобальные изменения, происходящие в околозвездной среде на временном масштабе в несколько лет, связанные с внезапной диссипацией его газовой оболочки, которая со временем восстанавливается снова. Фотометрически это проявляется как ослабление блеска на несколько десятых звездной величины, когда оболочка диссипирует [1].

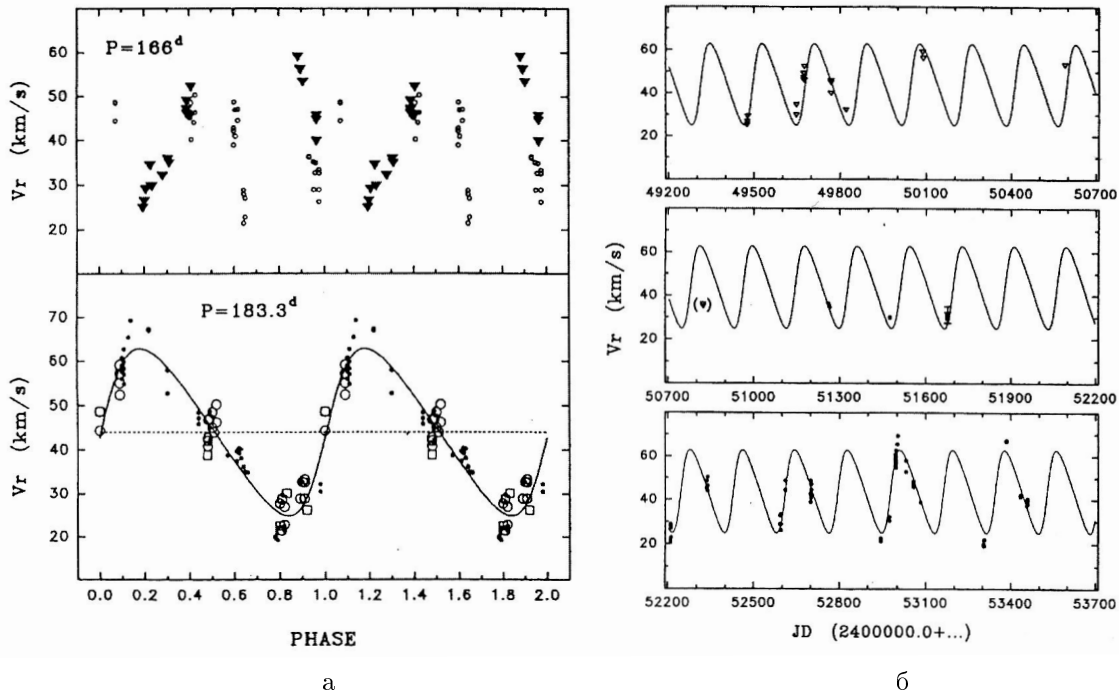


Рис. 3. *а* – Лучевые скорости атмосферных линий в спектре HD 53367, свернутые с орбитальным периодом $P = 166$ дней, заподозренным Корпороном и Лагранж [4] (верхний рисунок). Разными символами показаны данные, полученные в этой статье и в нашей работе. На рисунке видно, что этот период не подтверждается на новом наблюдательном материале. На нижнем рисунке представлены наши данные, свернутые с периодом 183 дня, вычисленным нами по методу наименьших квадратов из сравнения наблюдаемой и теоретической кривой, построенной для модели двойной системы. Разные символы соответствуют разным спектральным линиям. *б* – Временной ход лучевых скоростей атмосферных линий в сравнении с теоретической кривой, соответствующей окончательному орбитальному решению, представленному в табл. 2 (второй столбец)

За период 1999–2005 гг. мы получили более 100 спектров этого объекта в различных линиях на телескопе ЗТШ 2.6-м (R порядка 20 000), когда объект находился на слабом уровне своего блеска. До этого около 20 спектров высокого разрешения были получены в 1994–1998 гг. Корпороном и Лагранж в обсерватории Верхнего Прованса в период его яркого блеска [4].

В своей статье [4] Корпорон и Лагранж впервые попытались проверить HD 53367 на двойственность, исследовав изменения лучевых скоростей линий нейтрального гелия в течение четырех лет. Они обнаружили период в 166 дней, однако их результат нуждался в дополнительной проверке, так как: а) 19 точек было явно недостаточно для точного периодограммного анализа; б) максимум их фазовой кривой пришелся на область фаз, где точки отсутствовали; и в) они использовали линии He I, сильно искаженные околосолнечным влиянием, когда объект находился в ярком состоянии блеска.

На основе нового материала мы исследовали изменения лучевых скоростей атмосферных линий O II $\lambda 6641 \text{ \AA}$ и He I $\lambda 6678 \text{ \AA}$, когда объект находился в слабом состоянии блеска, его оболочка уже в значительной степени диссипировала, и ее влияние на профили линий атмосферы было минимальным. Оказалось, что оценка $P = 166$ дня не подтверждается на новом материале (рис. 3, *а*, верхний). Тем не менее, мы обнаружили период изменения лучевых скоростей линий, но с периодом $P = 183$ дня (рис. 3, *а*, нижний). Дополнительное включение в статистический анализ и данных Корпорона и Лагранж позволило достигнуть еще большей точности определения орбитальных параметров системы (табл. 2).

По ширине эмиссионных бальмеровских линий ориентация орбиты HD 53367 должна быть близкой к “edge-on” [10]. В этой ситуации второй компонент системы должен иметь массу порядка 4–5 масс Солнца. Более массивный компонент (M порядка $20 M_{\odot}$), несмотря на достаточно ранний эволюционный статус, уже должен был выйти на главную последовательность. В настоящее время он демонстрирует активность, типичную для проэволюционировавших Ве-звезд. На временном масштабе в несколько лет он теряет свою

Таблица 2. Параметры орбиты системы HD 53367

| Параметр | Только по данным КрАО | По данным КрАО, ОНР и LNA |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| P (дни) | 183.34 ± 0.45 | 183.70 ± 0.10 |
| T_0 (JD) | 2449127.90 ± 9.76 | 2449118.71 ± 2.86 |
| e | 0.25 ± 0.04 | 0.28 ± 0.03 |
| ω ($^\circ$) | 266.6 ± 8.0 | 263.8 ± 6.6 |
| K_1 (км/с ³) | 19.0 ± 0.7 | 18.6 ± 0.7 |
| γ (км/с ³) | 44.1 ± 0.5 | 44.2 ± 0.5 |
| $f(M_2)$ масс Солнца | 0.100 ± 0.016 | 0.107 ± 0.013 |

газовую оболочку, а потом накапливает ее снова. Не обнаруживается какая-либо связь этого явления с орбитальной фазой системы.

Авторы из ГАО РАН благодарят за спонсорскую поддержку грант РФФИ № 07-02-00535а, грант научной школы № 6110.2008.02, а также Программу Президиума РАН № 4 и Программу ОФН РАН № 10104.

- [1] *Ежкова О. В.* Исследование фотометрической и спектральной переменности избранных Ae/Be звезд Хербига // Кандидатская диссертация. – Ташкент, 2000. – 123 с.
- [2] *Alecian E., Catala C., Wade G.A., et al.* Characterization of the magnetic field of the Herbig Be star HD 200775 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2008. – **385**. – P. 391–403.
- [3] *Beskrovnaya N. G., Pogodin M. A., Shcherbakov A. G., Tarasov A. E.* Profile variability of the H $_{\alpha}$ emission line in the Herbig B3e star HD 200775 // Astron. and Astrophys. – 1994. – **287**. – P. 564–570.
- [4] *Corporon P., Lagrange A.-M.* A search for spectroscopic binaries among Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1999. – **136**. – P. 429–444.
- [5] *Herbig G. H.* The spectra of Be- and Ae-type stars associated with nebulosity // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1960. – **4**. – P. 337–382.
- [6] *Miroshnichenko A. S., Mulliss Ch. L., Bjorkman K. S., et al.* High state of the H $_{\alpha}$ emission activity in the Herbig Be star HD 200775 // Publ. Astron. Soc. Pacif. – 1998. – **110**. – P. 883–887.
- [7] *Monnier J.D., Berger J.P., Millan-Gabet R., et al.* Few skewed disks found in first closure-phase survey of Herbig Ae/Be stars // Astrophys. J. – 2006. – **647**. – P. 444–463.
- [8] *Pogodin M. A., Miroshnichenko A. S., Bjorkman K. S., et al.* Spectroscopic behaviour of the Herbig Be star HD 200775 around its maximum in 1997 // Astron. and Astrophys. – 2000. – **359**. – P. 299–305.
- [9] *Pogodin M. A., Miroshnichenko A. S., Tarasov A. E., et al.* A new phase of activity of the Herbig Be star HD 200775 in 2001: evidence for binarity // Astron. and Astrophys. – 2004. – **417**. – P. 715–723.
- [10] *Pogodin M. A., Malanushenko V. P., Kozlova O. V., et al.* The Herbig B0e star HD 53367: circumstellar activity and evidence for binarity // Astron. and Astrophys. – 2006. – **457**. – P. 551–559.
- [11] *Watt G. D., Burton W. B., Choe S. U., Liszt H. S.* Structure and physical properties of the bipolar outflow source NGC 7023 // Astron. and Astrophys. – 1986. – **163**. – P. 194–2003.