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

М. А. Погодин[1], Н. Г. Бескровная[1], А. С. Мирошниченко[2], В. П. Маланушенко[3], О. В. Козлова[3], Т. Н. Тарасова[3], А. Е. Тарасов[3], В. Г. Клочкова[4], Г. А. Чунтонов[4], М. В. Юшкин[4], N. Manset[5], K. S. Bjorkman[6], N. D. Morrison[6], J. P. Wisnewski[6], G. A. P. Franco [7]

[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-Черкеская Республика, 369167, Россия

[5] *CFHT Corporation, 65-1238, Kamaela, HI-96743, Hawaii, USA*

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

[7] *Departamento de Fisoca – ICEx – UFMG, Belo Horisinte, Brazil*

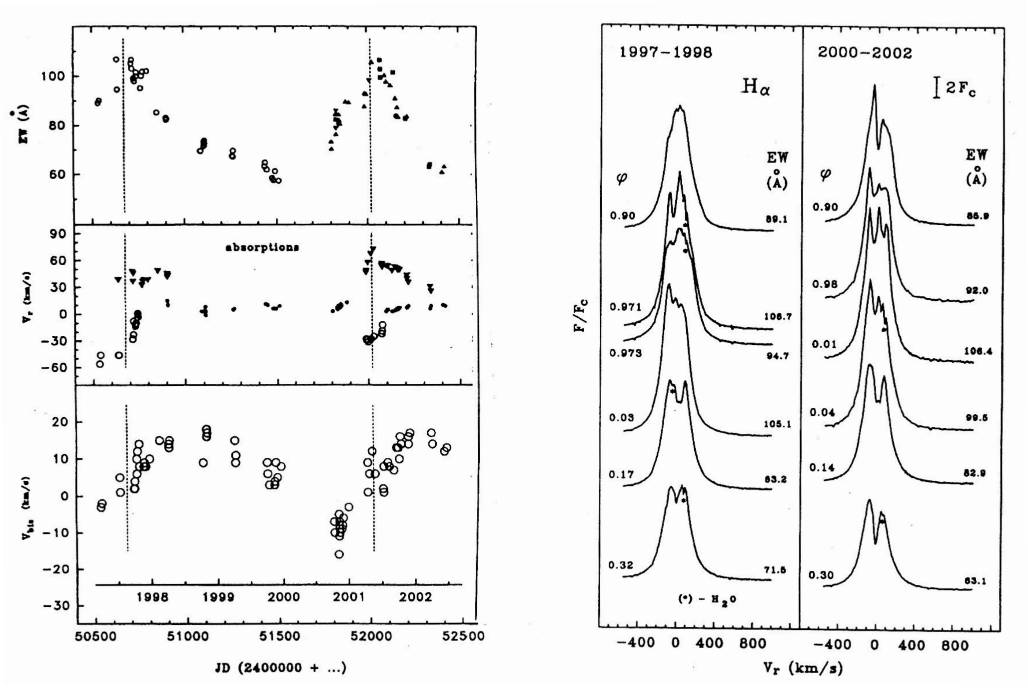
Мы представляем результаты спектроскопического исследования двух массивных Ве-звезд Хербига, проведенного в 1994–2003 гг. на телескопах нескольких крупнейших обсерваторий мира. Основной материал был получен на 2.6-м телескопе Шайна в Крымской астрофизической обсерватории (Украина). В3е-звезда Хербига 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, B0e) 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 λ 6678 Å и O II λ 6641 Å.



а б

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 $i \sim 70°$ [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 $2\,F_c$ (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

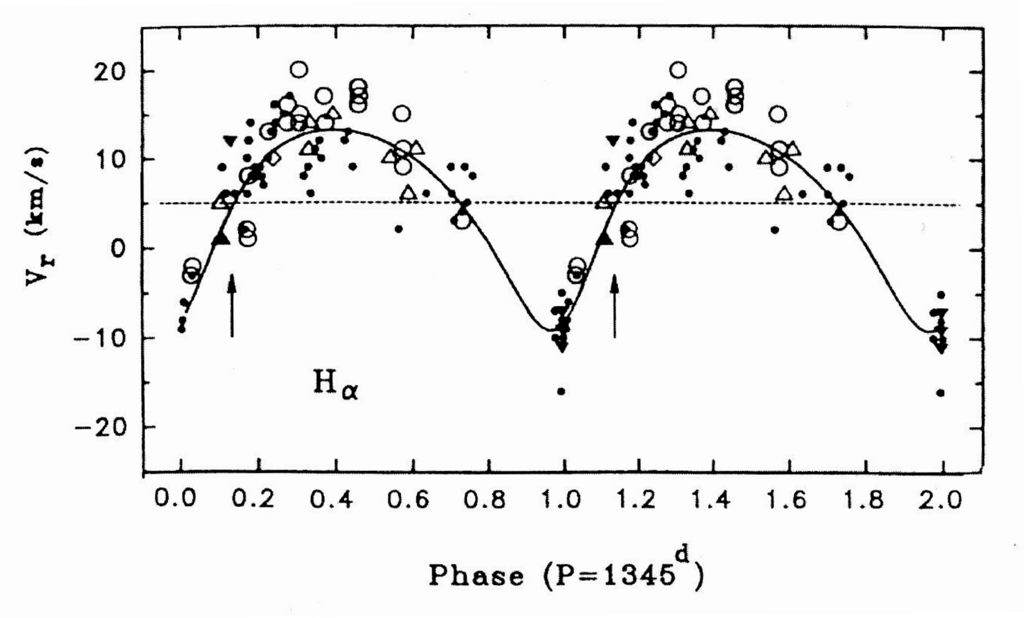


Рис. 2. Фазовая зависимость бисекторной лучевой скорости V_{bis} (уровень $2\,F_c$) для периода 1345 дней. Разными значками отмечены значения скоростей, полученные на разных обсерваториях. Вертикальная стрелка соответствует фазе максимума EW

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 эшеле-спектроскопии [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 ($i \approx 70°$), 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.

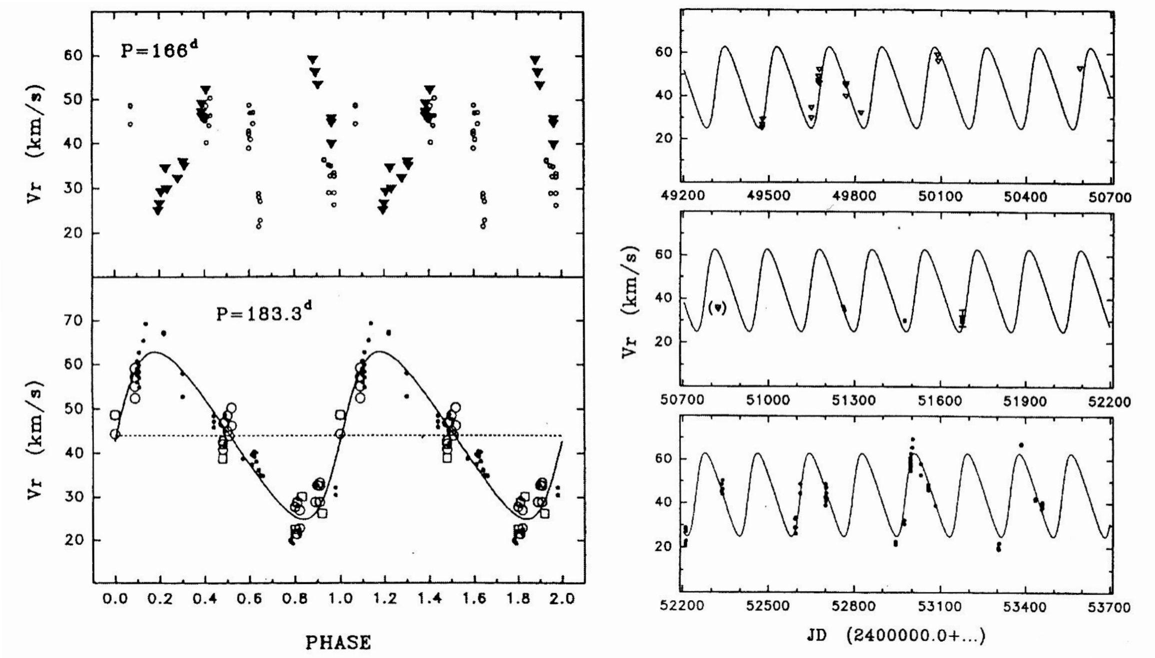
Наблюдающуюся циклическую переменность H_α профиля можно качественно объяснить взаимодействием внешних частей дисков каждого из компонентов системы при их сближении.

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 (°)	203 ± 22	224 ± 16	216 ± 16
i (°)	–	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].



а б

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 околозвездным влиянием, когда объект находился в ярком состоянии блеска.

На основе нового материала мы исследовали изменения лучевых скоростей атмосферных линий O II λ 6641 Å и He I λ 6678 Å, 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 ширинам 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 Be-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, OHP 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
$\omega\,(^\circ)$	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_α 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_α emission activity in the Herbig Be star HD 200775 // Publs 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.