

Ве-ЗВЕЗДА ХЕРБИГА HD 52721 - НОВЫЕ ПРИЗНАКИ ДВОЙСТВЕННОСТИ

Н.Г.БЕСКРОВНАЯ¹, М.А.ПОГОДИН¹, Г.Г.ВАЛЯВИН²,
Н.Р.ИХСАНОВ¹, И.С.ГУСЕВА¹, С.Е.ПАВЛОВСКИЙ¹,
Н.РУСОМАРОВ³, О.В.ЕЖКОВА⁴

Поступила 3 октября 2012

Принята к печати 5 декабря 2012

Результаты фотометрии и спектроскопии высокого разрешения Ве-звезды Хербига HD 52721, представленные в нашей предыдущей статье [1], дополнены новыми данными, полученными с эшелле-спектрографом, установленном на 2.1-м телескопе обсерватории Сан Педро Мартин (Энсенада, Мексика). Проведен также более детальный анализ данных *BVR*-фотометрии, полученных с 1987 по 1998гг. в Майлданакской обсерватории (Узбекистан). Он подтвердил, что на фазовой кривой блеска, построенной для орбитального периода $P = 1^d.610$, наблюдаются два минимума различной глубины, разделенные по фазе на 0.5, а также выявил эффект покраснения объекта на фазах минимумов. Обнаружено, что профили атмосферных линий HeI в области 4000–4500 Å в максимуме блеска более широкие, мелкие и асимметричные, чем в минимуме, что и должно наблюдаться в тесных двойных системах. Обсуждаются различные факторы, которые могут повлиять на формирование наблюдаемых профилей атмосферных линий. Результаты наблюдений подтверждают гипотезу о наличии плотной дискообразной газовой оболочки, окружающей систему, дающей заметный вклад в ее общий блеск и содержащей глобальную азимутальную неоднородность, вращающуюся синхронно с орбитальным движением компонентов системы. Подчеркивается необходимость новых спектральных наблюдений HD 52721 в области атмосферных линий, а также продолжения фотометрической программы для подтверждения существования и анализа устойчивых мелких вариаций на кривой блеска объекта.

Ключевые слова: *звезды:двойные системы:околосредная среда - объект:
HD 52721*

1. *Введение.* В этой работе мы продолжаем фотометрическое и спектроскопическое исследование Ве-звезды Хербига HD 52721 (GU Cma, MWC 164, B2Vne, $V = 6^m.6$), первые результаты которого были опубликованы в статье [1].

HD 52721 известен как один из наиболее ярких и массивных молодых объектов в обширном комплексе звездообразования в созвездии Большого Пса, возраст которого оценивается в $2 \cdot 10^6$ лет. Его основной отличительной особенностью является циклическая фотометрическая переменность с периодом $P = 0^d.805$ [1-6]. В нашей первой работе [1] было показано, что HD 52721 представляет собой тесную двойную систему с компонентами, имеющими близкие параметры и поочередно затмевающими друг друга при орбитальном движении с периодом $P = 1^d.610$. Было также установлено,

что параметры эмиссионной линии $H\alpha$ и околозвездной компоненты линии HeI 6678 изменяются с тем же периодом.

За время, прошедшее с момента опубликования первой статьи [1], данные наблюдений были пополнены результатами эшелле-спектроскопии, проведенной в Обсерватории Сан Педро Мартир (Мексика). Были также заново переобработаны данные фотометрии, полученные в Майданакской обсерватории (Узбекистан) в 1987-1998гг. [5,6].

К сожалению, в тексте статьи [1] мы допустили ряд неточностей (г.о., в табл.1). Кроме того, ошибка в определении даты минимумов блеска на $0^d.5$ стала причиной смещения нулевой фазы на 0.308 на рис.5-8, иллюстрирующих фазовые изменения параметров околозвездных линий, что привело к дополнительным сложностям при интерпретации результатов наблюдений. В этой работе фазовые диаграммы спектральных параметров представлены в исправленном виде. Повторный анализ результатов наблюдений, дополненных новыми данными, привел к более полному и ясному пониманию общей картины явлений, происходящих в этой системе.

2. *Анализ фотометрических данных, полученных в Майданакской обсерватории.* Широкополосная *UBVR*-фотометрия HD 52721 проводилась в 1987-1998гг. в Майданакской обсерватории (Узбекистан), и ее результаты опубликованы в работах [5,6]. Мы переобработали эти данные (около 700 *BVR*-измерений блеска), используя метод совмещения фазовых фрагментов, примененный нами ранее к данным *ASAS* (The All Sky Automated Survey) и описанный в [1]. Были также учтены тренды изменений блеска между различными сезонами наблюдений. В итоге были построены новые фазовые диаграммы блеска и показателей цвета, которые приводятся на рис.1. На них хорошо видно, что два минимума блеска имеют разную глубину. Стал заметен и цветовой эффект - в минимуме блеска объект становится краснее.

Сравнение фазовых зависимостей блеска и показателей цвета для периода $P=1^d.610$, представленных в разных работах, показывает, что:

а) отличие двух минимумов хорошо заметно на фазовых диаграммах блеска, построенных на основе длинных рядов наблюдений (продолжительностью несколько лет и общим числом фотометрических оценок в несколько сотен). Это относится как к данным *ASAS* [1], так и к майданакским данным;

б) локальные структуры на фазовой кривой блеска в области минимумов четко выявляются по данным *ASAS*, но только угадываются на диаграммах, построенных по результатам наблюдений на Кисловодской станции [1] и Майданакской обсерватории;

в) покраснение объекта в минимуме блеска обнаружено как по майданакским данным, так и в работах [3,7], относящихся к фотометрии в *ESO* в 1985г., т.е. во всех случаях, когда наблюдения проводились в нескольких

фотометрических полосах и, наконец,

г) локальные структуры в области максимумов блеска присутствуют на фазовой диаграмме 1985г. [3,7], а также на фазовой кривой блеска ASAS [1].

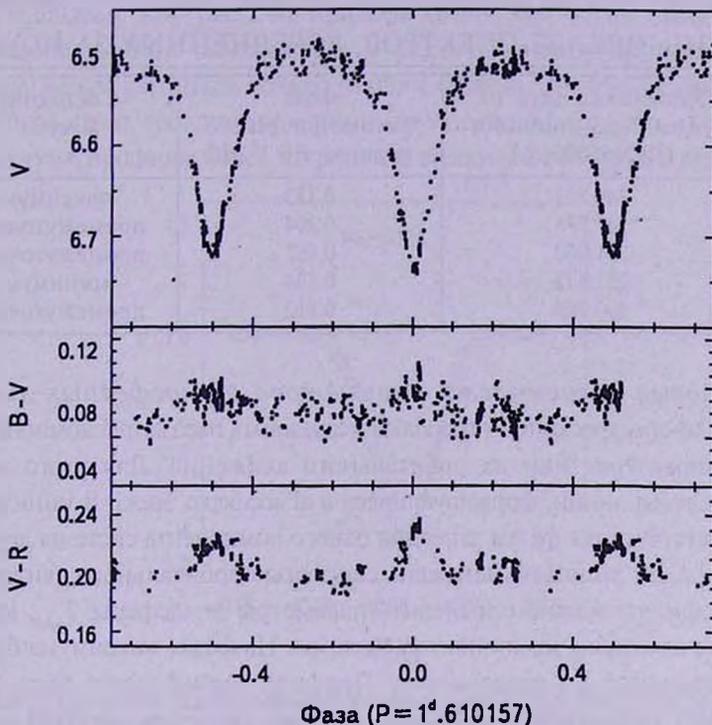


Рис.1. Фазовая кривая блеска и показателей цвета HD 52721 по майдаанакским данным 1987-1998 гг. для периода $P = 1^d.610$. Диаграммы построены методом совмещения фазовых фрагментов [1] с учетом долгопериодической переменности параметров (на масштабе месяцы-годы). Средняя точность измерения блеска составляет $0^m.01$, а цвета - $0^m.02$.

3. *Спектроскопические исследования.* Новые спектральные наблюдения HD 52721 были проведены в Обсерватории Сан Педро Мартир Национального Университета Мексики ОАН SPM UNAM (Энсенада, Мексика) с использованием эшелле-спектрографа REOSC [8], установленном на 2.1-м телескопе. Спектрограф имеет разрешение $R = 17000$ и общий рабочий диапазон $\lambda\lambda 3800 - 6800\text{\AA}$ (26 спектральных порядков). В течение пяти ночей с 18 по 25 февраля 2010г. было получено более 40 спектров объекта (от 5 до 9 спектров за ночь) с временем экспозиции 3 минуты для каждого спектра. Обработка наблюдений проводилась с помощью пакета IRAF и включала в себя стандартные процедуры очистки от космических частиц, коррекции плоского поля, калибровки шкалы длин волн и аппроксимации континуума. Спектры, снятые в течение ночи, были усреднены, благодаря чему отношение сигнал/шум в результирующих спектрах составляет от 150

до 300 (в зависимости от погодных условий при наблюдениях). Информация о спектрах приводится в табл.1.

Таблица 1

ПЕРЕЧЕНЬ ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОВ, УСРЕДНЕННЫХ ЗА НОЧЬ

Дата	Юлианская дата на середину экспозиции (JD2455000+...)	Фаза фотометрического периода $P=1^d.610$	Состояние блеска
18.03.10	246.713	0.733	максимум
19.03.10	247.778	0.394	промежуточное
23.03.10	251.860	0.867	промежуточное
24.03.10	252.832	0.534	минимум
25.03.10	253.766	0.112	промежуточное

3.1. Фазовые зависимости параметров атмосферных линий.

Данные эшелле-спектроскопии позволяют исследовать параметры компонентов системы и характеристики их орбитального движения. Для этого могут быть использованы линии, формирующиеся в атмосферах звезд. В минимумах блеска, соответствующих фазам затмения одного компонента системы другим, ширина профилей линий не искажена скоростью орбитального движения. По этим профилям можно определить параметры атмосферы $T_{\text{эф}}$, $\log g$ и $V \sin i$, средние для обоих компонентов системы. На фазах максимума блеска звезды наблюдаются по отдельности. Профили линий могут быть либо раздвоенными, либо более широкими и узкими, если они спектрально не разрешаются. В этом случае профиль представляет собой суперпозицию двух отдельных профилей, принадлежащих каждому из компонентов. Если параметры звезд близки, но все-таки имеют некоторые различия (что как раз и ожидается в нашем случае), то общий профиль будет асимметричным, а его параметры (в частности, лучевая скорость) должны показывать циклические изменения с орбитальным периодом. Асимметрия профиля будет наибольшей, когда объект находится в состоянии максимума блеска, и должна исчезать на фазах фотометрических минимумов.

Количество имеющихся в нашем распоряжении эшелльных спектров HD 52721 недостаточно для построения детальных фазовых диаграмм (см. табл.1). Но среди них имеется один, соответствующий фазе максимума блеска ($\Phi = 0.733$) и один, полученный, когда объект был близок к фотометрическому минимуму ($\Phi = 0.534$), что позволяет сравнить профили атмосферных линий в двух противоположных состояниях блеска.

Мы использовали для анализа шесть голубых линий HeI 4009, 4026, 4121, 4144, 4388 и 4471, которые у звезд класса В считаются чисто атмосферными. Их профили, полученные на фазе фотометрического минимума ($\Phi = 0.534$), позволили оценить параметры атмосфер компонентов системы

в предположении, что эти параметры одинаковы для обеих звезд, а звезды имеют сферическую форму. Для расчета использовалась программа Пискунова SYNTH+ROTATE [9]. Наилучшее согласие между теорией и наблюдениями было достигнуто для модели с параметрами $T_{эфф} = 25000 \pm 1000^\circ \text{K}$, $\log g = 4.0$, $V \sin i = 200 \text{ км/с}$ (см. рис.2 на примере линии HeI 4026). Однако без учета эллипсоидальности компонентов и различий между их параметрами эта оценка может считаться только приближенной. Сравнение профилей этих линий на фазах максимума и минимума показало, что, как и ожидалось, в максимуме профили более широкие и мелкие. Это хорошо видно на рис.3

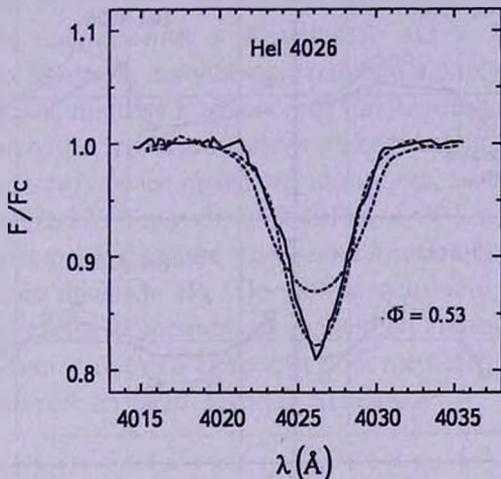


Рис.2. Сравнение нормированного профиля линии HeI 4026 Å на фазе фотометрического минимума ($\Phi = 0.53$) с теоретическими профилями, построенными для моделей: $T_{эфф} = 25000^\circ \text{K}$, $\log g = 4.0$, $V \sin i = 200$ и 300 км/с .

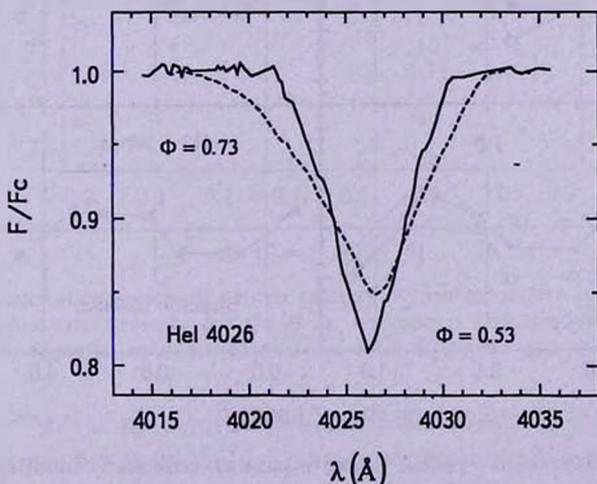


Рис.3. Сравнение нормированных профилей линии HeI 4026 Å, наблюдаемых в максимуме ($\Phi = 0.73$) и минимуме ($\Phi = 0.53$) блеска.

на примере линии HeI 4026. Кроме того, по всем шести линиям HeI оказалось, что на уровне $0.98 F_c$ (где F_c - уровень континуума) ширины линий в максимуме блеска больше на 240 ± 30 км/с по сравнению с фотометрическим минимумом, а на уровне 0.5 от глубины линии - на 100 ± 16 км/с. При этом, при средней глубине профилей $0.92 \pm 0.04 F_c$, в минимуме блеска они глубже на $0.040 \pm 0.005 F_c$.

На рис.4 показаны фазовые ($P=1^d.610$) диаграммы лучевой скорости

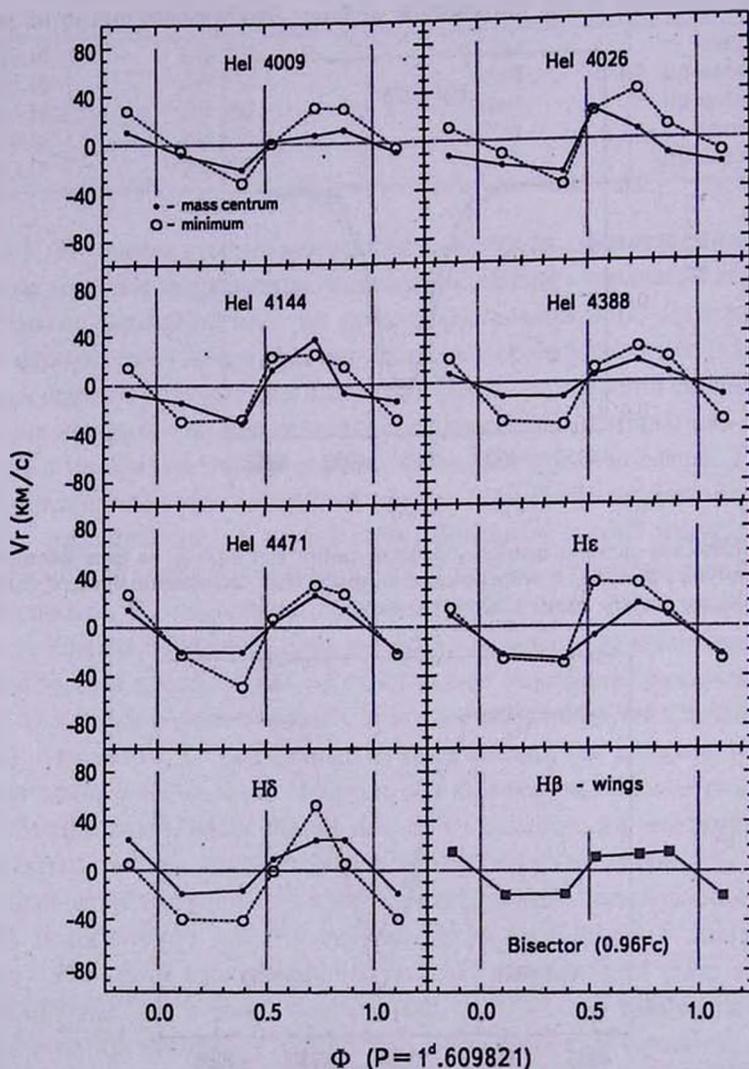


Рис.4. Фазовые изменения лучевой скорости ряда атмосферных линий для $P=1^d.610$. Светлые кружки соответствуют положению минимума интенсивности линии, темные кружки - лучевой скорости центра тяжести абсорбционного профиля. Для линии H δ (нижняя правая панель) представлены фазовые изменения изменения бисекторной скорости, измеренной для крыльев атмосферного профиля на уровне $0.96 F_c$ (темные квадраты).

нескольких линий HeI, а также бальмеровских линий H β и H γ , не имеющих видимых околозвездных компонент. Для линии H β показаны вариации бисекторной скорости атмосферной компоненты профиля, измеренной на уровне $0.96 F_c$. На рисунке видно, что полученные фазовые зависимости соответствуют ожидаемым для всех линий.

3.2. Фазовые зависимости параметров околозвездных линий.

Зависимости параметров линий H α и HeI 6678, имеющих околозвездные компоненты, от фазы фотометрического периода $P=1^d.610$ обсуждались в нашей первой статье [1]. Эти зависимости были построены по данным спектральных наблюдений в Крымской АО в 2009-2010гг. Как уже отмечалось во *Введении*, допущенная ошибка в определении нулевой фазы на величину 0.308, привела к искажению полученных фазовых зависимостей. Здесь мы приводим эти зависимости в исправленном виде. Нулевая фаза привязана к моменту более глубокого минимума, вычисляемого по формуле: $JD2455263.2416 \pm 2NP$, где $P=0^d.8049105$, а N - целое число.

На рис.5 показаны фазовые изменения лучевой скорости центра тяжести V_m эмиссионного профиля H α . По этой зависимости можно найти скорость центра масс системы относительно солнечной системы, $\gamma = +25.4$ км/с. Эта величина близка к оценке скорости собственного движения HD 52721, $+21.7$ км/с, взятой из базы данных SIMBAD.

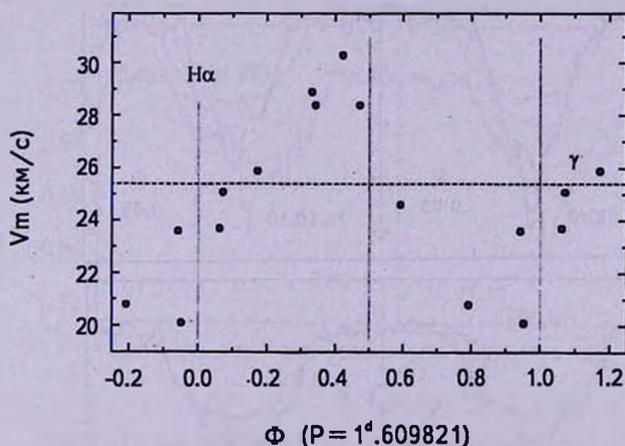


Рис.5. Зависимость скорости центра тяжести V_m эмиссионного профиля H α от фазы Φ фотометрического периода $P=1^d.610$. γ - скорость собственного движения центра масс системы. Средняя точность одного значения $V_m \pm 0.9$ км/с.

Рис.6 и 7 иллюстрируют нормированные профили линии HeI 6678 на разных фазах периода $P=1^d.610$. Уровень непрерывного спектра на рисунках проведен без учета его изменения вследствие циклической переменности блеска объекта. Для сравнения на рисунках показаны синтетические профили атмосферной линии HeI 6678, рассчитанные по программе Пискунова [9]

для моделей с различными значениями $V_{\sin i}$ (300 и 400 км/с). Эти модельные профили позволяют наглядно сравнивать ширину атмосферных крыльев профиля на разных фазах фотометрического периода.

Профиль линии HeI 6678 в спектре HD 52721 имеет комплексную структуру. На атмосферный профиль с широкими абсорбционными крыльями накладывается более узкий двойной эмиссионный профиль с центральным абсорбционным ядром, формирующийся в околосветной оболочке.

На рисунках видно, что на фазах, близких к фотометрическим минимумам, крылья профиля заметно уже, чем в максимуме блеска. Двойной эмиссионный профиль мало заметен на фазах минимумов на фоне атмосферной подложки.

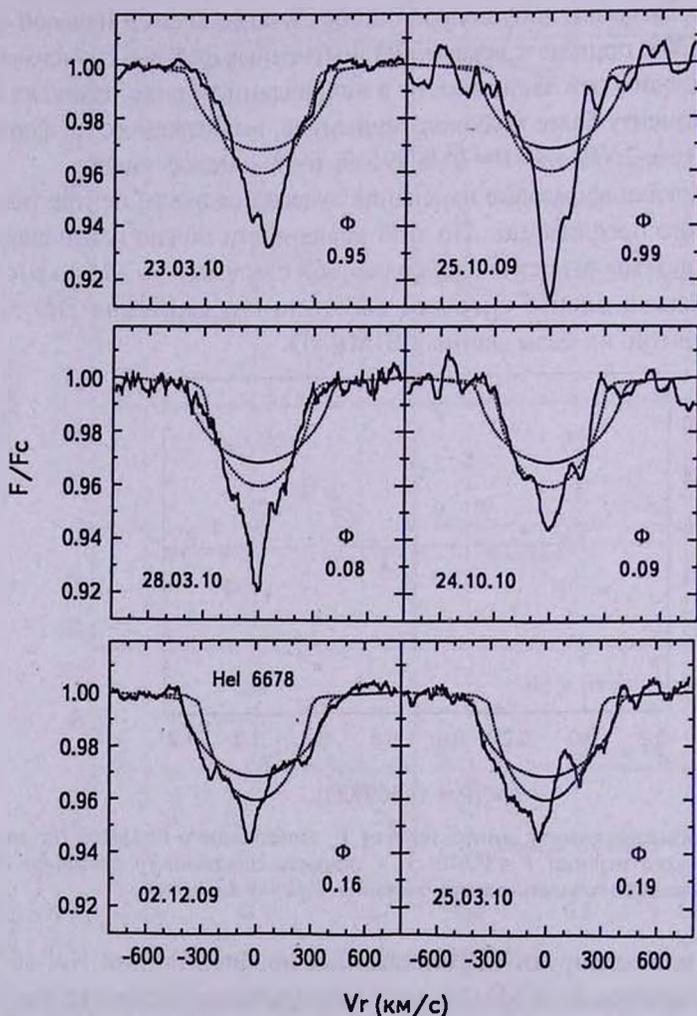


Рис.6. Изменения нормированного профиля линии HeI 6678 с фазой Φ фотометрического периода $P = 1^d.610$ в интервале фаз от -0.1 до 0.2 . Синтетические профили, рассчитанные для модели с $V_{\sin i} = 300$ и 400 км/с, приведены для сравнения.

Отношение интенсивностей его пиков меняется с фазой. В максимуме блеска между минимумом I (более глубоким) и минимумом II отношение $V/R < 1$, а между минимумами II и I - $V/R > 1$.

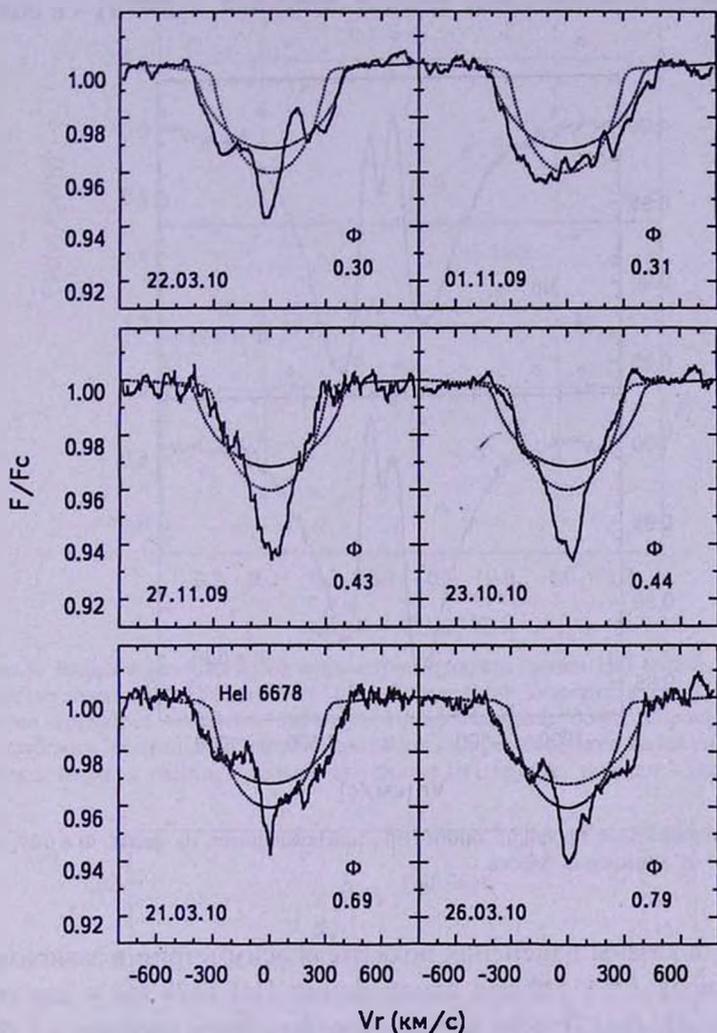


Рис.7. То же, что на рис.6, но для интервала фаз от 0.3 до 0.8.

На рис.8 показаны нормированные профили линии $H\beta$ на двух фазах, соответствующих максимуму блеска: между минимумами I и II ($\Phi = 0.39$) и между минимумами II и I ($\Phi = 0.73$), построенные по данным эшелле-спектроскопии в Мексике. Профиль этой линии имеет такую же комплексную структуру, как и у линии HeI 6678, но еще более четкую. Хорошо видно, что его изменения в точности соответствуют переменности, наблюдаемой в линии HeI 6678.

Для количественной оценки фазовых изменений профилей линий Н β и HeI 6678 мы ввели так называемый показатель асимметрии профиля, определяемый как $EW(V)/EW(R)$, где $EW(V)$ - это эквивалентная ширина линии в области отрицательных лучевых скоростей, а $EW(R)$ - в области, где $V_r > 0$.

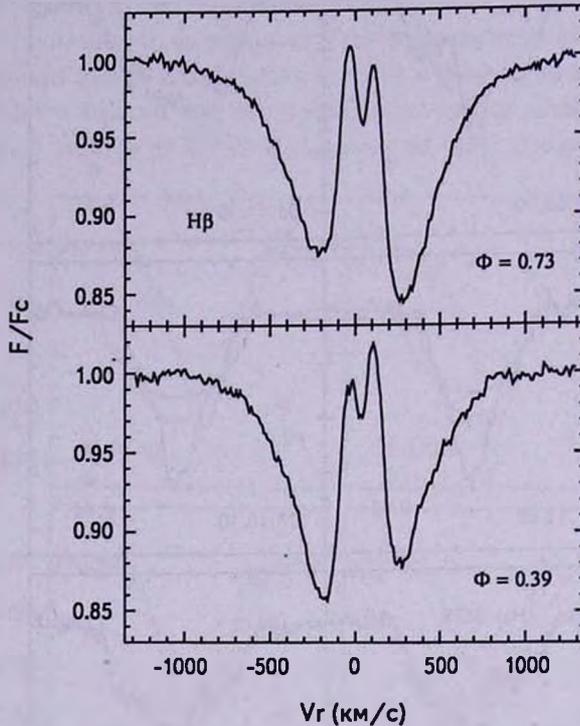


Рис.8. Нормированные профили линии Н β , наблюдавшиеся на фазах $\Phi = 0.39$ и 0.73 по обе стороны от минимума блеска.

На рис.9 показаны изменения показателя асимметрии в зависимости от фазы периода $P = 1^d.610$ для одной линии HeI 6678 (а) и для обеих линий HeI и Н β (б). Темные кружки соответствуют профилям с более узкими атмосферными крыльями, а светлые - с более широкими. Рисунок отчетливо показывает картину изменений: в минимумах блеска профиль становится узким и симметричным, а в максимумах - асимметричным и более широким. При этом на фазах между первым и вторым минимумом и между вторым и первым асимметрия носит противоположный характер.

Совершенно иное поведение демонстрируют эмиссионные линии FeII (см. рис.10). Они имеют P Cуг структуру и не показывают фазовых изменений. У наиболее сильной линии FeII $\lambda 5169$ (мультиплет 42) голубой край P Cуг абсорбции достигает лучевой скорости -1000 км/с.

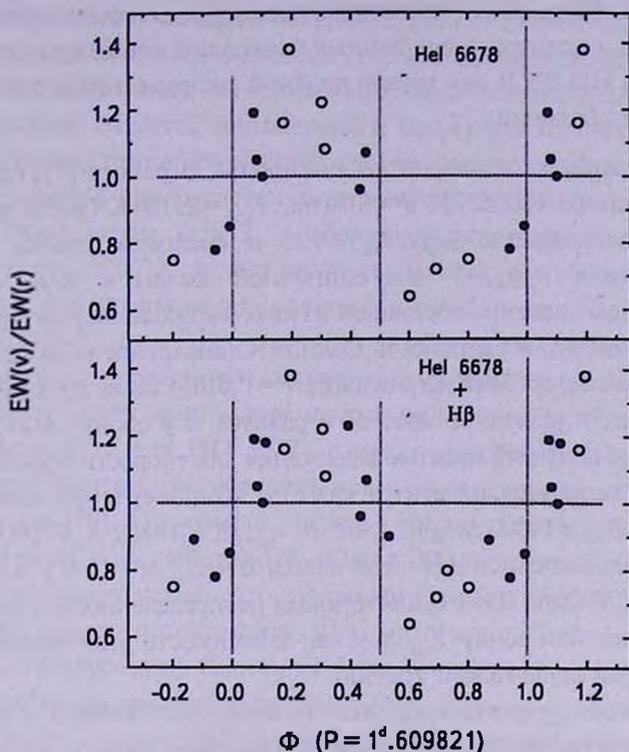


Рис.9. Зависимость показателя асимметрии профиля линии HeI 6678 Å и H β от фазы Φ фотометрического периода $P = 1^d.610$. Определение показателя приводится в тексте. Светлыми кружками помечены значения, соответствующие более широким профилям с менее глубоким центральным ядром. Черные кружки соответствуют более узким и глубоким профилям. Верхняя панель - только для линии HeI 6678 Å, нижняя - для обеих линий.

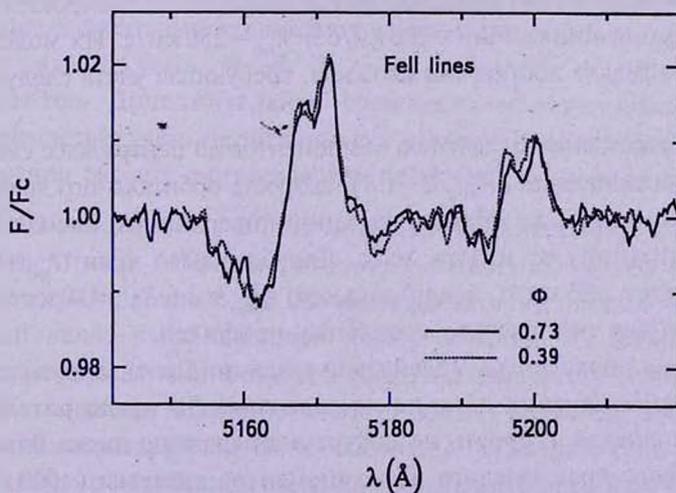


Рис.10. Нормированные профили линий FeII в спектре HD 52721 на фазах $\Phi = 0.39$ и 0.73 для периода $P = 1^d.610$.

4. *Дискуссия.* Результаты обработки и первичного анализа полученных фотометрических и спектральных данных позволяют сделать ряд выводов о характеристиках HD 52721 как тесной двойной системы и об особенностях ее околосредней оболочки.

4.1. *Параметры компонентов системы.* В работе [7], где было принято расстояние до HD 52721 $d = 1050$ пк, $T_{\text{эф}} = 25100$ К (как и в нашей работе) и светимость объекта $\log(L/L_{\odot}) = 4.25$ в максимуме блеска, оценка радиуса R составила $R/R_{\odot} = 7$ для одиночной звезды и $R/R_{\odot} = 5$ для компонента двойной системы, состоящей из двух звезд одинакового радиуса. Здесь R_{\odot} и L_{\odot} - радиус и светимость Солнца. Стандартное выражение для функции масс, величина орбитального периода $P = 1^d.610$, а также предположение о круговых орбитах и равенстве масс M и радиуса R у обоих компонентов системы позволяют получить простые выражения для скорости орбитального движения $V_{\text{орб}}$ и расстояния от центра каждого компонента системы до ее центра масс $r_{\text{орб}}$: $V_{\text{орб}} = 115(M/M_{\odot})^{1/3}$ км/с и $r_{\text{орб}}/R = 3.68(R/R_{\odot})^{-1}(M/M_{\odot})^{1/3}$. Для величины M , характерной для звезд класса B1-B2, $M = 10 M_{\odot}$, находим: $r_{\text{орб}} = 1.58 R$ и $V_{\text{орб}} = 250$ км/с. Даже существующая неопределенность в значении M не сильно влияет на оценку $V_{\text{орб}}$, так как зависимость этой величины от M достаточно слабая (кубический корень).

С другой стороны, упрощенный модельный расчет глубины и продолжительности фотометрического минимума для системы из двух одинаковых звезд сферической формы приводит к оценке $r_{\text{орб}} = 1.62 R$ и $i = 66^\circ$, где i - угол наклона оси вращения системы к лучу зрения. Таким образом, оценки $r_{\text{орб}} = 1.6 R$, полученные различными методами, хорошо согласуются.

Профили атмосферных линий, наблюдаемых в максимуме блеска ($\Phi = 0.73$), на первый взгляд представляются недостаточно широкими при предполагаемых значениях $V \sin i = 200$ км/с и $V_{\text{орб}} = 250$ км/с. Их модельная интерпретация - задача достаточно сложная, требующая учета следующих факторов:

1. Так как расстояния от центров компонентов до центра масс системы сопоставимы с их радиусами ($r_{\text{орб}}/R \sim 1.6$), скорость орбитального движения будет по разному влиять на области звездной поверхности, находящиеся на разных расстояниях от центра масс. Для ближнего края ($r_{\text{орб}} = 0.6 R$) скорость $V_{\text{орб}}$ будет ~ 95 км/с, а для дальнего ($r_{\text{орб}} = 2.6 R$) ~ 410 км/с, что должно учитываться при расчете модельных профилей.

2. Геометрия области взаимодействия газового диска, окружающего систему, с ее компонентами пока не исследована. По предварительным оценкам, кеплеровская скорость на внутренней границе диска близка к скорости внешнего края каждого из компонентов системы (~ 600 км/с), однако для восстановления полной картины взаимодействия требуются точные модельные расчеты. Если это взаимодействие приведет к допол-

нительному нагреву звездной поверхности, то в случае синхронизированного орбитального движения в системе (т.е. когда ориентация разных областей звездной поверхности относительно оси, соединяющей центры масс компонентов, остается неизменной), возможно появление устойчивого азимутального температурного градиента на звездной поверхности. Учет этого градиента при расчете синтетических профилей также необходим.

3. Температура газа T_g в оболочке, окружающей систему из двух звезд с $T_{\text{эфф}} = 25000^\circ \text{K}$, может оказаться настолько высокой ($T_g \sim 15\text{-}20$ тыс градусов), что ее оптическая толщина в голубых линиях HeI (в диапазоне $\lambda 4000\text{-}4500\text{\AA}$) будет достаточной, чтобы атмосферные профили этих линий оказались подвергнуты искажающему влиянию околосреды. Это влияние может носить переменный характер, а из литературы известно, что оценки $V \sin i$ для HD 52721 в предположении, что объект является одиночной звездой, оказывались в широких пределах от 243 ± 93 км/с до 456 ± 2 км/с [10]. Последняя оценка хорошо согласуется с величинами, полученными в нашей работе: $V \sin i = 200$ км/с плюс и $V_{\text{орб}} = 250$ км/с. Однако, следует отметить, что заливание крыльев профилей околосреды эмиссией может происходить и в минимуме блеска. В этом случае потребуются коррекция величины $V \sin i$, определенной нами по профилям линий, наблюдаемых на фазе $\Phi = 0.53$.

Для более детального анализа параметров компонентов системы и их орбитального движения требуются новые данные эшелюной спектроскопии, полученные на разных фазах орбитального движения и в периоды наименьшего искажения профилей атмосферных линий околосреды оболочкой. В общей постановке задача является многопараметрической и предполагает модельные расчеты профилей атмосферных линий объекта на разных фазах орбитального движения компонентов системы, где параметрами модели должны быть M , R , $T_{\text{эфф}}$, $\log g$, $V \sin i$ и $V_{\text{орб}}$ для каждого из компонентов. Дополнительная сложность моделирования связана с необходимостью учета несферичности компонентов синхронизированной системы при расчете синтетических профилей атмосферных линий.

4.2. *Околосредная оболочка.* Наблюдаемый эффект покраснения показателей цвета на фазах фотометрических минимумов (см. раздел 2) позволяет предположить, что оболочка достаточно плотна, чтобы вносить заметный вклад в наблюдаемый блеск объекта. На фазах минимумов контраст между излучением звезд и оболочки становится меньше, поскольку уменьшается вклад излучения звезд в общий блеск системы. А так как цветовая температура излучения оболочки должна быть существенно ниже по сравнению с излучением звезд-компонентов, общее излучение системы становится краснее. Эта плотная газовая оболочка должна представлять собой диск, окружающий систему в целом, о чем говорят двойные

эмиссионные профили линий $H\beta$ и HeI 6678. Ориентация диска, как и орбита системы, близка к положению "с ребра" с $i=70^\circ$ (см. раздел 4.1).

На больших широтах у звезд-компонентов системы должен присутствовать звездный ветер, разгоняемый давлением излучения звезд, так как их спектральный класс более ранний, чем В3 [11]. Признаки такого ветра отчетливо наблюдаются в линиях $FeII$ (рис.10), указывая на скорость истечения, достигающую -1000 км/с.

Фазовые изменения профилей линий $H\beta$ и HeI 6678 (см. рис.6-9), а также лучевой скорости центра тяжести эмиссионного профиля $H\alpha$ (рис.5) свидетельствуют о существовании в дисковой оболочке глобальной азимутальной неоднородности, вращающейся синхронно с орбитальным движением компонентов системы. Анализ этих изменений показывает, что неоднородность должна располагаться около компонента I (ответственного за минимум I) в месте пересечения диска линией, соединяющей компоненты.

Природа этой неоднородности остается предметом дальнейшего исследования. Мы можем предположить, что это может быть динамическое образование в виде гипотетического струйного истечения из системы в оболочку, если система является взаимодействующей. Таким образованием может также оказаться асимметричный фронт взаимодействия звездного ветра, истекающего из каждого из двух компонентов системы, если плотность истечения у них различная (см., например, [12]).

Околзвездный диск молодого объекта HD 52721 имеет, по-видимому, реликтовую природу. Но у звезд с сильным звездным ветром у диска может быть дополнительная подпитка веществом за счет части звездного ветра, сжимающегося в направлении экваториальной плоскости. Этот процесс описывается WCD-моделью для горячих классических Ве-звезд [13]. Согласно [14], эта модель может эффективно описывать наблюдаемые явления только в присутствии магнитного поля порядка $10-100$ Гс.

Присутствие на фазовых кривых блеска устойчивых локальных деталей (см. раздел 2) может быть также связано с существованием в оболочке неоднородностей, вращающихся синхронно с орбитальным движением компонентов системы. Однако само наличие таких деталей должно быть подтверждено дополнительными фотометрическими наблюдениями.

4. *Заключение.* Представленные результаты были получены в ходе новых наблюдений HD 52721, а также пересмотра более ранних данных, частично опубликованных различными авторами (в том числе и нами). В итоге было установлено, что:

1. HD 52721 представляет собой тесную двойную систему, включающую две В1-В2 звезды с близкими параметрами, с расстоянием между компонентами порядка 3.2 радиуса, среднего для двух звезд системы, и орбитальным периодом $P=1^d.610$.

2. Система окружена плотной газовой оболочкой, ориентированной по отношению к наблюдателю почти "с ребра" ($i=70^\circ$). Благодаря высокой плотности газа оболочка дает заметный вклад в общий блеск системы, а из-за ее высокой температуры ($T_e \sim 15-20$ тыс градусов) она может искажать профили атмосферных линий HeI в спектральной области $\lambda\lambda 4000-4500\text{\AA}$, что затрудняет детальное исследование параметров компонентов системы и характеристик их орбитального движения.

3. Дискообразная оболочка имеет глобальную азимутальную неоднородность, вращающуюся синхронно с орбитальным движением компонентов системы. В статье обсуждается возможная природа подобной неоднородности.

Сложная структура системы, а также недостаток наблюдательных данных стали причиной того, что остались нерешенными следующие вопросы:

1. Неизвестны точные параметры каждого из компонентов системы и характер их взаимодействия.

2. Не определены точно параметры орбит каждого из компонентов системы.

3. Остается пока неясным характер взаимодействия между системой и ее оболочкой и, в частности, причина возникновения в оболочке азимутальных неоднородностей, вращающихся синхронно с орбитальным движением компонентов системы.

Для решения этих проблем требуется в первую очередь:

а) получить новые данные эшельной спектроскопии на разных фазах орбитального периода $P=1^d.610$ и, по возможности, в сезоны наименьшего влияния околосредней среды на профили атмосферных линий в спектральном диапазоне $4000-4500\text{\AA}$.

б) продолжить фотометрическую программу, в частности, для подтверждения и исследования устойчивых мелких структур на фазовой кривой блеска.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 21, Программы ОФН РАН №17, Программы "Ведущие научные школы" (грант № НШ-1625.2012.2) и Федеральной Целевой Программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 (XXXVII очередь, мероприятие 1.2.1 и №8394).

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: beskrovnaya@yahoo.com, pogodin@gao.spb.ru

² Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, математико-механический факультет, кафедра астрофизики

⁴ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Be HERBIG STAR HD 52721 - NEW SIGNS OF BINARITY

N.G.BESKROVNAYA¹, M.A.POGODIN¹, G.G.VALYAVIN²,
N.R.IKHSANOV¹, I.S.GUSEVA¹, S.E.PAVLOVSKIY¹,
N.RUSOMAROV³, O.V.EZHKOVA⁴

We supplement results of photometric and high-resolution spectroscopic observations of the Herbig Be star HD 52721 presented in our previous paper [1] with the new data from echelle-spectroscopy performed with the 2.1-m telescope at the San Pedro Martir Observatory (Ensenada, Mexico). We have also examined in more detail *BVR*-photometric data obtained in 1987-1998 at the Maidanak Observatory (Uzbekistan). Our analysis has confirmed that the light curve folded with the orbital period $P=1^d.610$ contains two unequal minima separated by half a period and revealed reddening of the object at the phases of photometric minima. We show that at the phases of maximum brightness the profiles of HeI atmospheric lines in the spectral region 4000-4500 Å appear to be more asymmetric, broad and shallow in comparison with the phase of minimum which is expected in the close binary systems. We discuss different factors which could influence the formation of observed profiles of photospheric lines. Our results favor the hypothesis about a presence of the dense disk-like envelope surrounding the system and contributing a significant amount to its total brightness. The envelope is likely to contain azimuthal inhomogeneity rotating synchronously with the orbital movement of the system components. We emphasize a necessity to continue both spectroscopic observations of HD 52721 in the regions of photospheric lines and its photometric monitoring to confirm an existence and examine stable details on the light curve of the object.

Key words: stars:binary systems:circumstellar matter - individual:HD 52721

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Погодин, Н.Г.Бескровная, И.С.Гусева, С.Е.Павловский, Н.Русомаров, *Астрофизика*, 54, 243, 2011.
2. J.J.Claria, *Astron. J.*, 79, 1022, 1974.
3. F.Praderie, C.Catala, J.Czarny, H.R.E.Tjin A Djie, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 89, 91, 1991.
4. ESA, the Hipparcos Catalogue, ESA SP-1200, 1997.
5. O.V.Ezhkova, *IBVS*, 4693, 1, 1999.
6. O.V.Ezhkova, Исследование фотометрической и спектральной переменности

избранных Ae/Be звезд Хербига, кандидатская диссертация, Ташкент, 2000.

7. *H.R.E.Tjin A Dje, M.E. van den Ancker, P.F.C.Blondel et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 325, 1441, 2001.
8. *S.Levine, D.Chakrabarty*, IA-UNAM, Technical Report № MU-94-04, 1994.
9. *N.E.Piskunov*, in: Stellar Magnetism, 92, Nauka, St.Petersburg, 1992.
10. *Y.Fremat, C.Neiner, A.-M.Hubert et al.*, Astron. Astrophys., 451, 153, 2006.
11. *F.Strafella, S.Pezutto, G.G.Corciulo et al.*, Astrophys. J., 505, 299, 1998.
12. *V.V.Usov*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 252, 49, 1991.
13. *J.E.Bjorkman, J.P.Cassinelli*, Astrophys. J., 409, 429, 1993.
14. *J.Porter*, Astrophys. J., 324, 597, 1997.