# АСТРОФИЗИКА

**TOM 54** 

МАЙ, 2011

ВЫПУСК 2

# НD 52721 - ТЕСНАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА СРЕДИ Ае/Ве ЗВЕЗД ХЕРБИГА

#### М.А.ПОГОДИН<sup>1</sup>, Н.Г.БЕСКРОВНАЯ<sup>1</sup>, И.С.ГУСЕВА<sup>1</sup>, С.Е.ПАВЛОВСКИЙ<sup>1</sup>, Н.РУСОМАРОВ<sup>2</sup> Поступила 23 февраля 2011 Принята к печати 16 марта 2011

Представлены результаты фотометрии и спектроскопии высокого разрешения Везвезды Хербига HD 52721, полученные в период с октября 2009г. по октябрь 2010г. Мы полтвеодили циклический характер фотометрической переменности HD 52721, обнаруженный ранее другими исследователями. Переменность проявляется в виде минимумов на кривой блеска объекта, повторяющихся с периодом P = 0<sup>4</sup>.805, характерных для затменных двойных систем. Использование ASAS-ланных, охватывающих период наблюдений с сентября 2003г. по декабрь 2009г., показало, что два соседних фотометрических минимума отличаются друг от друга, и что реальный орбитальный период системы должен быть вдвое больше (P = 1<sup>4</sup>.610). Это подтверждают и данные спектроскопии. Их анализ позволил установить, что центо тяжести эмиссионной линии На и профиль линии HeI 6678 с ярко выраженной околозвездной компонентой показывают уверенную корреляцию с периодом 14.610. По всей видимости. HD 52721 является тесной двойной системой, состоящей из двух звезд класса В2 с достаточно близкими параметрами. Сделано предположение, что природа наблюдаемых циклических изменений околозвездных параметров может быть связана с существованием в оболочке глобальной азимутальной неоднородности, врашающейся синхронно с орбитальным движением компонентов системы.

## Ключевые слова: звезды:двойные системы:околозвездная среда - объект: HD 52721

1. Введение. HD 52721 (GU CMa, MWC164, B2Vne,  $V=6^{m}.6$ ) является одним из наиболее ярких и массивных объектов, связанных с ассоциацией отражательных туманностей CMaR1 в общирном комплексе звездообразования, включающем более 100 молодых звезд различной массы. Он известен как визуально двойная система ADS 5713 (RST 3489) с менее ярким компонентом, наблюдающимся на угловом расстоянии от главного  $\Delta \rho = 0^{m}.95$ . Если принять расстояние до HD 52721 равным 1050 пк [1], то расстояние между компонентами системы будет порядка 650 а.е.

В спектре HD 52721 присутствуют эмиссионные бальмеровские линии, этот объект был в свое время включен Финкенцеллером и Мундтом [2] в группу молодых звезд Хербига [3]. Как и у большинства горячих молодых звезд, у HD 52721 не наблюдается избытка излучения пылевого происхождения в ближнем и среднем ИК-диапазонах, так как пыль быстро выметается и разрушается на близких расстояниях от объекта. Избыток излучения появляется

#### м.а.погодин и др.

только на  $\lambda > 10$  мкм [1], он связан с тепловым излучением холодной пыли в наиболее удаленных областях реликтового аккреционного диска. На более близких расстояниях в диске присутствует только газовая составляющая, ответственная за формирование в спектре эмиссионных линий и избытка излучения в ближней и средней ИК-области.

Детальный обзор наблюдательных свойств HD 52721 приведен в работе Тин A Дье и др. [1]. Наиболее интересной особенностью объекта является его периодическая фотометрическая переменность, впервые отмеченная еще в 70-х годах [4]. Самый полный анализ этой переменности был проведен на основе данных *UBVR* фотометрии в рамках программы POTOP, осуществленной на Майданакской обсерватории (Узбекистан). За период 1987-1998гг. было сделано 320 измерений HD 52721 в течение 12 наблюдательных циклов. Результаты этого исследования были опубликованы в работе Ежковой [5]. Ряд участников этой программы стали также соавторами обзора [1], где была развита интерпретационная часть работы. Согласно результатам фотометрии, у кривой блеска объекта периодически наблюдается минимум с амплитудой порядка 0<sup>тв</sup>.25 и периодом  $P=0^{d}.805078$ . Существование этой переменности с вдвое большим периодом подтверждается и по более ранним данным Прадери и др. [6] (107 *BVRI* измерений в течение 5 ночей в 1985г.), а также по данным HIPPARCOS-фотометрии [7] в конце 90-х годов ( $P=1^{d}.610137$ ).

В обзоре [1] были рассмотрены 3 возможных интерпретации этого явления:

1. Орбитальное движение двух компонентов двойной системы с очень близкими значениями радиуса и эффективной температуры с периодом  $P = 1^4.610$  с попеременным затмением друг друга через каждые полпериода. Авторы [1] отвергли этот вариант, ссылаясь на то, что на спектрах HD 52721, полученных в 1991г. на основном звездном спектрографе на БТА-6м (САО РАН), лучевые скорости спектральных линий не показали высокоамплитудных изменений.

2. Такая же система, но один из ее компонентов - маломассивный и более холодный (предположительно, звезда класса КО). Период орбитального движения в такой системе вдвое меньше (0<sup>d</sup>.80), холодный компонент периодически экранирует горячий, но сам фотометрически не проявляет себя из-за малой яркости. Авторы [1] считают такую интерпретацию наиболее вероятной, их версию подтверждают цветовые изменения объекта, который, согласно [6], становится краснее в моменты минимумов (см. также рис.9 в [1]).

3. Возможная пульсационная активность HD 52721, расположенного близко к зоне нестабильности переменных типа β Сер. Однако эта гипотеза должна получить подтверждение по спектральным данным.

Мы не считаем достаточно убедительной аргументацию авторов [1] против модели двух звезд-близнецов класса B2V. Они не нашли сильных

## НD 52721 - ТЕСНАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА

позиционных изменений спектральных линий объекта, но использовали при этом линию Hel 5876. Хорошо известно, что эта линия подвержена сильному влиянию околозвездной среды и поэтому не может служить индикатором лучевой скорости самой звезды с достаточно развитой газовой оболочкой. Полобную же ошибку совершили в свое время Корпорон и Лагранж [8], пытаясь по линиям Hel 5876 и 6678 обнаружить двойственность у ряда Ас/Ве-звезд Хербига, среди которых был и HD 52721. Эффект покраснения объекта в моменты минимумов блеска, обнаруженный по ланным 1985г. [6], полностью отсутствует по данным более позднего майданакского исследования в 1987-1998гг. [5]. За такой короткий срок параметры звезд-компонентов системы не могли измениться. Но вполне могли измениться условия в околозвездном газе, который иногда может существенно влиять на фотометрические параметры. Пример такого влияния описан. в частности, в работе Погодина и др. [9], посвященной исследованию другой молодой массивной Ве-звезды в СМа-комплексе -HD 53367 (B0IV-Ve). Поэтому в настоящий момент нет достаточных оснований изначально отвергать модель двух горячих Ве-звезд-близнецов. образующих двойную систему с орбитальным периодом P~1<sup>d</sup>.610.

Задачей нашей работы было: а) получить новые спектроскопические данные для HD 52721 с использованием спектрографа высокого разрешения; б) определить тип объекта, являющегося, по-видимому, тесной двойной системой: в) оценить параметры системы и г) исследовать характер взаимодействия объекта с его околозвездной средой.

2.1. Фотометрия. В фотометрическом исследовании коллектива Майданакской обсерватории [5] период системы и моменты минимума блеска были вычислены с достаточно высокой точностью (  $\sigma = \pm 0^d.0001$ ). Однако с момента их последних наблюдений прошло более 10-ти лет, что составляет несколько тысяч циклов орбитального движения. Понятно, что в настоящее время использовать их оценку моментов минимума уже невозможно. Поэтому нам было необходимо провести одновременно со спектральными наблюдениями новый фотометрический сет наблюдений HD 52721.

Фотометрические наблюдения проводились в марте 2010г. на Кисловодской горной астрономической станции ГАО РАН. ПЗС-камера ST-8 была установлена на телескопе Цейсса (D=15 см, F=150 см). Приемником излучения служила матрица КАF-1600 (1530 x 1020 пк, поле 21' x 14'). Так как в нашу задачу не входило исследование цветовых характеристик объекта, наблюдения проводились в интегральном свете (без фильтров). Кривая спектральной чувствительности матрицы в сравнении с кривыми пропускания стандартных джонсоновских фильтров *UVBR* приведена на рис.1. Максимум ее чувствительности близок к  $\lambda_{\rm sopt}$  полосы *R* (~0.70 мкм), но ширина полосы гораздо больше. Это обеспечило нам достаточно высокую точность

245

### М.А.ПОГОДИН И ДР.

фотометрических измерений. В качестве звезды сравнения была использована звезда класса B8-B9 HD 52774 ( $V=8^{m}.84$ ,  $V-R=0^{m}.08$ ,  $E_{g,v}=0^{m}.12$ ), отстоящая от HD 52721 на 9 угловых минут. Она была детально исследована в рамках майданакского фотометрического обзора (см. [10] и соответствующие ссылки).



Рис.1. Спектральная кривая реакции ПЗС матрицы КАF-1600 в сравнении с кривыми пропускания фильтров *BVR* стандартной фотометрической системы Джонсона.

Всего с 7 по 28 марта 2010 г. в течение 11 наблюдательных ночей было сделано более 1100 измерений HD 52721 с временем экспозиции  $t_{\rm жст} = 10^{\circ}$ . Продолжительность фотометрического сета в течение каждой ночи составляла от 1 до 4 часов (в среднем 3 часа). Точность одного индивидуального измерения была в среднем  $\pm 0^{m}$ .02. Вся информация о фотометрических наблюдениях собрана в табл.1. На рис.2 показана кривая блеска объекта.

Таблица І

Дата	Юлианская дата (JD2455200.0+)		Число измерений
	Начало сета	Конец сета	minutes a
07.03.10	62.764	62.910	143
12.03.10	67.742	67.847	68
17.03.10	82.774	82.818	35
18.03.10	83.699	83.839	93
19.03.10	84.700	84.836	83
20.03.10	85.694	85.855	158
23.03.10	88.685	88.880	154
24.03.10	89.967	89.781	60
26.03.10	91.770	91.857	11
27.03.10	92.701	92.865	112
28.03.10	93.727 `	93.855	93

#### ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## НD 52721 - ТЕСНАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА

свернутая с *P*=1<sup>d</sup>.610157, соответствующим удвоенному *P*=0<sup>d</sup>.805078, взятому из работы [5]. Эпоха отсчета на данном этапе была выбрана произвольно. Результаты измерений, полученные в каждую наблюдательную ночь, отмечены на рисунке различными символами с соответствующими обозначениями даты наблюдений (например, "26" означает 26.03.2010). На рисунке ясно



Рис.2. Фрагменты кривой блеска HD 52721, свернутой с фазой Ф периода *P* = 1<sup>4</sup>.610157, опубликованного в [5]. Измерения, выполненные в разные ночи показаны разными символами, подписи к фрагментам обозначают дату в марте 2010г. Начальная датв при свертке была выбрана произвольно.  $\Delta m$  - это звездная величина объекта относительно звезды сравнения HD 52774.

видны два минимума блеска. Фрагменты кривой блеска, полученные в ночи 20, 23 и 28 марта, формируют профиль минимума на условной фазе 0.15 (называемой далее минимум I), в ночи 19, 24 и 27 - минимум II (на условной фазе 0.65), а в ночи 17, 18 и 26 марта - плато на уровне максимального блеска. Особняком выглядят фрагменты, соответствующие измерениям, сделанным в ночи 7 и 12. В ночь 7.03 фрагмент повторяет по наклону профиль восходящего крыла минимума I, но сдвинут на величину 0<sup>тв</sup>.145 в сторону ослабления блеска. То же можно сказать и про ночь 12.03, но величина сдвига составляет 0<sup>тв</sup>.030. Мы сделали предположение, что кроме циклических изменений блеска у объекта есть и более долгопериодическая (возможно, иррегулярная) переменность, которая и проявила себя в ночи 7 и 12 марта в виде ослабления общего блеска. В пользу такого предположения свидетельствует большой разброс точек (до 0<sup>m</sup>.10) на фазовой кривой блеска HD 52721 из работы [5], построенной по майданакским данным, которые были получены за 10 лет. Этот разброс существенно превышает реальные ошибки измерений (до 0<sup>m</sup>.01).

Мы использовали данные, полученные в ночи 18, 20, 23 и 28, а также в ночи 7 и 12 (с соответствующими сдвигами по шкале звездных величин) для определения периода изменений по методу Лефлера-Кинмана [11] в области формирования минимума I (интервал условных фаз 0.0-0.5). Та же процедура была проделана с данными, полученными в ночи 18, 19, 24, 26 и 27 (интервал условных фаз 0.5-1.0), соответствующими минимуму II. Это дало возможность получить 2 значения ожидаемого периода  $P \sim 0^4.8$ , рассчитать его среднюю величину и оценить ошибку определения. Мы получили  $P = 0^4.8049105 \pm 0^4.002545$ . Эта величина хорошо соответствует значению периода, полученному в [5] по майданакским данным:  $P = 0^4.805079$ , по величине попадающему в интервал ошибок нашей оценки. Сосчитанные нами даты появления минимума I можно определить из выражения JD2455262.7459 ± 2NP, где  $P = 0^4.8049105$ , а ошибка определения эпохи



Рис.3. (вверху) Фазовая кривая блеска HD 52721, построенная по полученным нами фотометрическим данным. Фаза Ф=0 соответствует моменту минимума I. Каждая точка на графике является результатом усреднения по 10 точкам с результирующей ошибкой ~±0<sup>m</sup>.007. Внизу представлена та же кривая, построенная по данным ASAS, сглаженная по 10 точкам с ошибкой каждой точки ~±0<sup>m</sup>.01. составляет ±0<sup>4</sup>.0010. Если в этом выражении заменить 2N на 2N+1, то получится формула для расчета дат минимума II на кривой блеска.

Для того, чтобы сделать выбор между двумя моделями двойной системы, мы прежде всего попытались найти различия в профилях I-го и II-го минимумов на фазовой кривой. Если бы такие различия были обнаружены, то правильность модели двух горячих звезд-близнецов была бы доказана. На рис.3 (верхняя панель) представлена фазовая кривая блеска HD 52721, полученная из наших наблюдений и построенная в соответствии с нашей оценкой периода  $P = I^4.609821$  и начальной фазы. При ее построении был учтен систематический сдвиг данных по шкале звездных величин, наблюдавшийся в ночи 7 и 12. Чтобы уменьшить ширину шумовой дорожки было произведено усреднение всех измеренных величин по 10 точкам. Точность каждого усредненного значения составила в среднем 0<sup>тв</sup>.007. На рисунке видно, что точки на фазовой кривой не заполняют полностью всю область фаз от 0 до 1. Поэтому наших данных оказывается недостаточно для уверенного заключения об идентичности или различии профилей минимумов I и II.

Для того, чтобы решить этот принципиальный вопрос, мы дополнительно использовали базу данных ASAS [12]. Там мы обнаружили результаты фотометрии HD 52721, проведенной с сентября 2003г. по декабрь 2009г. За этот период было произведено около 500 измерений объекта в фильтре V, точность одного измерения составляла порядка 0<sup>m</sup>.03-0<sup>m</sup>.04. Данные фотометрии были свернуты с полученным нами периодом P = 1.609821 суток. Так как общая протяженность ASAS-наблюдений составила более 6 лет, было невозможно точно рассчитать фазы всех измерений при той точности, с которой нами был определен период P (  $\pm 0^{d}.0005$ ), ошибка по фазе могла накопиться на уровне  $\pm 0.10$ . Поэтому весь временной интервал наблюдений был разбит на 6 последовательных этапов. Для каждого из них фазовая лиаграмма была построена отдельно, а потом 6 диаграмм были совмещены, при этом ошибка привязки по фазе составила менее  $\pm 0.01$ . Для привязки даты минимумов ASAS данных к нашим, мы использовали ASAS данные, полученные на последнем этапе в 2009г.

На рис.3 (нижняя панель) приводится фазовая диаграмма, построенная на основе ASAS-фотометрии. Для уменьшения шумовой дорожки кривая была сглажена с окном в 10 точек. На ней хорошо видно, что минимумы I и II заметно отличаются как по глубине, так и по крыльям профиля, где в основном проявляется эффект эллипсоидальности компонент системы. Таким образом, можно сделать вывод, что именно  $P \approx 1.610$  суток является орбитальным периолом системы. На последующих этапах нашего исследования HD 52721 мы предполагаем использовать полученные нами фотометрические данные, а также базу ASAS, для определения параметров системы. Однако предварительно мы хотели бы получить для этого объекта важную дополнительную информацию, которую может дать спектроскопия высокого разрешения. На данном этапе исследования мы использовали результаты нашей фотометрии только для точного вычисления моментов минимума блеска, необходимых для последующего анализа спектральных данных.

2.2. Спектроскопическое исследование. Спектральные наблюдения HD 52721 проводились с октября 2009г. по октябрь 2010г. на телескопе 3TШ-2.6м в Крымской астрофизической обсерватории. Был использован кудэ-спектрограф ASP-14 и ПЗС-камера Andor IKON-L (2048 x 2048 пк). За 14 ночей было получено 54 спектра с разрешением *R* ~ 25000 в области линий Hα (λ6562.82 Å), HeI (λ6678.15Å) и дублета DNaI (D<sub>1</sub>:λ5895.92Å и D<sub>2</sub>:λ5889.95Å). Ширина спектрального интервала для каждой линии составляла примерно 68 Å.

Для первичной обработки данных наблюдений использовались пакеты программ CCDROCK и SPE, разработанные сотрудником КрАО С.Г.Сергеевым. Часть материала была также обработана с использованием программ ESO-MIDAS. Перечень всех полученных спектров HD 52721 приведен в табл.2.

Таблица 2

Дата	Спектральная	Юлианская дата на	Фаза
	область	середину экспозиции	фотометрического
1000		(JD2455000+)	периода P=1 <sup>d</sup> .610
1	2	3	4
	Hel 6678	129.503	0.231
1.	Ηα	129.535	0.251
24 10 00	DNal	129.558	0.265
24.10.09	Hel 6678	129.590	0.285
	HeI 6678	129.611	0.298
	Hel 6678	129.632	0.311
	HeI 6678	130.563	0.890
35 10 00	Ηα	130.585	0.903
25.10.09	DNaI	130.614	0.921
	Hel 6678	130.632	0.933
	Hel 6678	134.599	0.397
29.10.09	Hel 6678	134.620	0.410
	Hel 6678	134.643	0.424
	Hel 6678	136.527	0.595
also in the	Hel 6678	136.548	0.608
31.10.09	Hel 6678	136.574	0.624
	Ηα	136.597	0.638
	DNaI	136.632	0.660
	Ηα	162.580	0.778
26.11.09	Hel 6678	162.596	0.789

#### ПЕРЕЧЕНЬ ПОЛУЧЕННЫХ СПЕКТРОВ

250

Τοδημμ	02	(оконча	HIIP)
I UU:IUU	u z	UNUNIU	пис,

$\begin{array}{c cccccc} & Hel \ 6678 & 168.472 & 0.437 \\ Hel \ 6678 & 168.542 & 0.482 \\ Hel \ 6678 & 168.561 & 0.494 \\ Hel \ 6678 & 168.573 & 0.501 \\ \end{array}$	J	2	3	4
$\begin{array}{c cccccc} 01.12.09 & \begin{array}{c} He1 \ 6678 & 168.542 & 0.482 \\ He1 \ 6678 & 168.561 & 0.494 \\ He1 \ 6678 & 168.573 & 0.501 \\ \end{array} \\ \hline \\ 10.10 & \begin{array}{c} He1 \ 6678 & 277.235 & 0.000 \\ \hline \\ 10.10 & \begin{array}{c} He1 \ 6678 & 277.256 & 0.014 \\ \hline \\ DNa1 & 277.319 & 0.053 \\ \end{array} \\ \hline \\ 22.03.10 & \begin{array}{c} He1 \ 6678 & 278.215 & 0.609 \\ \hline \\ He1 \ 6678 & 278.236 & 0.622 \\ \hline \\ DNa1 & 278.269 & 0.643 \\ \hline \\ Ha & 278.284 & 0.652 \\ \end{array} \\ \hline \\ 23.03.10 & \begin{array}{c} He1 \ 6678 & 279.219 & 0.233 \\ \hline \\ He1 \ 6678 & 279.242 & 0.247 \\ \hline \\ Ha & 279.262 & 0.260 \\ \hline \\ DNa1 & 279.289 & 0.276 \\ \end{array} \\ \hline \\ \hline \\ 25.03.10 & \begin{array}{c} Ha & 281.223 & 0.478 \\ He1 \ 6678 & 281.243 & 0.490 \\ \hline \\ He1 \ 6678 & 281.265 & 0.504 \\ \hline \\ DNa1 & 281.298 & 0.524 \\ \end{array} \\ \hline \\ \hline$		Hel 6678	168.472	0.437
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		Hel 6678	168.542	0.482
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	01.12.09	Hel 6678	168.561	0.494
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	100 201	Hel 6678	168.573	0.501
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $		Hel 6678	277.235	0.000
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	21.03.10	Hel 6678	277.256	0.014
$\begin{array}{c cccccc} & Hel \ 6678 & 278.215 & 0.609 \\ Hel \ 6678 & 278.236 & 0.622 \\ \hline DNal & 278.269 & 0.643 \\ H\alpha & 278.284 & 0.652 \\ \hline \end{array} \\ 23.03.10 & Hel \ 6678 & 279.219 & 0.233 \\ Hel \ 6678 & 279.242 & 0.247 \\ H\alpha & 279.262 & 0.260 \\ \hline DNal & 279.289 & 0.276 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} H\alpha & 281.223 & 0.478 \\ Hel \ 6678 & 281.243 & 0.490 \\ Hel \ 6678 & 281.243 & 0.490 \\ Hel \ 6678 & 281.265 & 0.504 \\ \hline DNal & 281.298 & 0.524 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} H\alpha & 282.218 & 0.096 \\ Hel \ 6678 & 282.235 & 0.106 \\ \hline \end{array}$		DNal	277.319	0.053
$\begin{array}{c cccccc} 22.03.10 & \mbox{Hel} 6678 & 278.236 & 0.622 \\ \hline DNal & 278.269 & 0.643 \\ \hline H\alpha & 278.284 & 0.652 \\ \hline \\ 23.03.10 & \mbox{Hel} 6678 & 279.219 & 0.233 \\ \hline \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \$		Hel 6678	278.215	0.609
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22.02.10	Hel 6678	278.236	0.622
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22.03.10	DNaI	278.269	0.643
$\begin{array}{c ccccc} & Hel \ 6678 & 279.219 & 0.233 \\ Hel \ 6678 & 279.242 & 0.247 \\ H\alpha & 279.262 & 0.260 \\ \hline & DNal & 279.289 & 0.276 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} & H\alpha & 281.223 & 0.478 \\ Hel \ 6678 & 281.243 & 0.490 \\ Hel \ 6678 & 281.265 & 0.504 \\ \hline & DNal & 281.298 & 0.524 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} & H\alpha & 282.218 & 0.096 \\ \hline & H\alpha & 282.235 & 0.106 \\ \end{array} $		Ηα	278.284	0.652
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		Hel 6678	279.219	0.233
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	22.02.10	Hel 6678	279.242	0.247
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23.03.10	Ηα	279.262	0.260
$\begin{array}{c ccccc} & & & & & & & & & & & & & & & & &$		DNal	279.289	0.276
$\begin{array}{c} 25.03.10 \\ HeI 6678 \\ HeI 6678 \\ DNa1 \\ 281.298 \\ 0.524 \\ \hline H\alpha \\ HeI 6678 \\ 282.218 \\ 0.096 \\ \hline HeI 6678 \\ 282.235 \\ 0.106 \\ \hline \end{array}$	25.03.10	Ηα	281.223	0.478
25.03.10 Hel 6678 281.265 0.504   DNal 281.298 0.524   Hα 282.218 0.096   Hel 6678 282.235 0.106		Hel 6678	281.243	0.490
DNai 281.298 0.524   Hα 282.218 0.096   Hel 6678 282.235 0.106		Hel 6678	281.265	0.504
Hα 282.218 0.096   HeI 6678 282.235 0.106		DNal	281.298	0.524
Hel 6678 282.235 0.106		Ηα	282.218	0.096
	36 02 10	Hel 6678	282.235	0.106
20.03.10 Hel 6678 282.256 0.120	26.03.10	Hel 6678	282.256	0.120
DNa1 282.285 0.138		DNal	282.285	0.138
Ηα 284.265 0.367		Ηα	284.265	0.367
Hel 6678 284.282 0.378	01 50 95	Hcl 6678	284.282	0.378
28.03.10 HeI 6678 284.303 0.391	28.03.10	Hel 6678	284.303	0.391
DNal 284.332 0.409	o rabia, sc.	DNal	284.332	0.409
Ηα 492.521 0.734	22.10.10	Ηα	492.521	0.734
Hel 6678 492.544 0.748		Hel 6678	492.544	0.748
22.10.10 Hel 6678 492.563 0.760		Hel 6678	492.563	0.760
DNa1 492.583 0.791		DNal	492.583	0.791
Ηα 493.546 0.371	23.10.10	Ηα	493.546	0.371
23.10.10 Hel 6678 493.568 0.385		Hcl 6678	493.568	0.385
Hel 6678 493.590 0.398		Hel 6678	493.590	0.398

2.2.1. Линии DNa1. Спектры, содержащие линии дублета DNal, были получены в разные сезоны наблюдений специально для того, чтобы проверить возможность перевода гелиоцентрических лучевых скоростей у всех остальных спектров в систему отсчета, связанную с самим объектом. Считается, что узкие абсорбционные компоненты дублета образуются в межзвездных (IS) облаках, расположенных в непосредственной близости от самой звезды и имеющих приблизительно ту же скорость собственного движения. Положения этих очень узких линий можно измерять с достаточно высокой точностью. Поэтому такой способ оценки скорости собственного

251

лвижения различных объектов применяется довольно часто.

Табл.3 содержит результаты наших измерений гелиоцентрических скоростей IS компонент DNaI. Ошибка измерения определялась из сравнения значений, полученных отдельно по линиям D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub>. Мы получили величину +31.1±0.5 км/с, усредненную по всем данным, однако можно заметить ее *Таблица 3* 

Дата	V (км/с)	±σ (κм/c)
24.10.09	+31.4	0.7
25.10.09	+32.6	0.9
31.10.09	+34.3	1.1
21.03.10	+30.6	0.8
22.03.10	+30.3	0.5
23.03.10	+30.5	0.8
25.03.10	+29.6	0.3
26.03.10	+29.6	0.6
28.03.10	+29.1	0.6
22.10.10	+32.6	0.6
Средняя всличина	+31.1	0.5

## ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ УЗКИХ АБСОРБЦИОННЫХ (IS) КОМПОНЕНТ ДУБЛЕТА DNal

изменения как от сезона к сезону, так и в пределах отдельных сезонов в X.09 и III.10 с амплитудой порядка 2-3 км/с. Так что, по всей видимости, этот метод определения скоростей собственного движения не является достаточно точным и может применяться только для приблизительных оценок. Это может быть связано с тем, что узкие DNal линии формируются не только в IS среде, но и частично в облаках холодного газа в периферийных областях околозвездной оболочки.

2.2.2. Линия Нα. Эмиссионная линия Нα является самой яркой в спектре HD 52721. Она не такая интенсивная, как в спектрах других Ae/Beзвезд Хербига (не более 3F, в максимуме интенсивности за весь полный сезон наблюдений), но при этом ее профиль имеет очень широкие крылья. Это создает определенные проблемы при построении ее нормированного профиля и, как следствие, при вычислении ее эквивалентной ширины. Обычно на спектрограммах до процедуры нормировки уровень континуума на участке спектра, содержащем линию, выглядит искривленным. Достаточно непросто отделить его кривую от влияния широких эмиссионных крыльев линии Нα. В результате точность нормировки оказывается сниженной. В таких случаях часто проводят нормировку к так называемому квазиконтинууму, аппроксимируя уровень непрерывного спектра линейной функцией, проведенной черсз крайние по длине волны точки спектрального участка, содержащего линию. Это, безусловно, снижает точность количественного анализа параметров Hα, но позволяет сделать некоторые заключения на качественном уровне.



Рис.4. Типичные нормированные профили эмиссионной линии Hα, наблюдавшиеся в разные даты. При нормировке учитывался циклически изменяющийся уровень непрерывного спектра *F*, *F*, (max) - это *F*, в состоянии максимального блеска.

Именно такие профили приводятся на рис.4. На них учтены изменения уровня континуума, связанные с циклическим изменением блеска объекта. Линия имеет широкий одиночный профиль, слегка раздвоенный у самой вершины. Интересно отметить, что подобный профиль Н $\alpha$  наблюдался и у другой массивной молодой звезды из того же комплекса звездообразования – HD 53367 [9] в моменты максимального блеска, когда ее газовая оболочка достаточно развита. Заметны сильные изменения интенсивности линии на временном масштабе в несколько дней. Нам не удалось найти значимой корреляции эквивалентной ширины эмиссионного профиля Н $\alpha$  с фазой периода  $P = 1^4.610$ , выявленного из фотометрических наблюдений.

Но есть один параметр наблюдаемого профиля  $H\alpha$ , который может быть вычислен достаточно точно. Это лучевая скорость центра тяжести эмиссионного профиля  $H\alpha$ ,  $V_m$ , являющаяся одним из показателей асимметрии излучающей газовой оболочки. Мы измерили эти величины и даже смогли оценить точность измерений. Дело в том, что при наблюдениях объектов с эмиссионными линиями  $H\alpha$  часто используется процедура, позволяющая убедиться, что наведение на нужный объект было произведено правильно. Для этого перед началом наблюдательного сета делается одна короткая экспозиция в области  $H\alpha$  - примерно 5-10 мин (при длительности нормальной экспозиции 20-30 мин). При правильном наведении на недодер-

жанном спектре должны появиться следы На -эмиссии. И уже после этого делается нормальная экспозиция. Такие пробные короткие экспозиции мы делали почти всегда, и поэтому в нашей коллекции полученных спектров есть и серия недодержанных спектров в области На со сравнительно маленьким отношением сигнал/шум (S/N). Эти спектры не были включены в сборную табл.3, но были использованы нами для оценки точности определения лучевой скорости центра тяжести эмиссионного профиля На (V). Проведя измерения V по недодержанному и нормальному спектру, содержащему эту линию, мы смогли рассчитать среднюю величину и се ошибку, вводя в расчеты веса, связанные с уровнем S/N для обоих спектров. В результате мы получили среднюю ощибку  $\sigma(V_m) = \pm 0.9$  км/с (от даты к дате она колебалась от 0.3 до 1.5 км/с), проверили зависимость  $V_{\perp}$  от фазы периода  $P = 1^{d}.610$  и установили. что существует достаточно уверенная корреляция. Она хорошо вилна на фазовой диаграмме, приведенной на рис.5. Величина / достигает максимума (V = 29 км/с) на фазе  $\Phi = 0.7$  и минимума (V = 22 км/с) на фазе около  $\Phi = 0.2$ . При амплитуде изменений в 7 км/с и ошибке измерения одной точки 0.9 км/с результат может считаться вполне достоверным.



Рис.5. Корреляция скорости центра тяжести  $V_{\star}$  эмиссионного профиля  $H\alpha$  с фазой  $\Phi$  фотометрического периода  $P = 1^{4}.609821$ .  $\gamma$  - скорость собственного движения центра масс системы. Средняя точность одного значения  $V_{\star} - \pm 0.9$  км/с.

Этот результат подтверждает вывод, сделанный нами на основе фотометрических данных, что именно период  $P = 1^{4}.610$  должен быть принят как орбитальный период двойной системы. Но он оказывается также и достаточно неожиданным. Он свидетельствует о существовании осевой асимметрии околозвездной оболочки, содержащей глобальную азимутальную неоднородность с единственной модой, врашающейся с периодом, совпадающим с орбитальным периодом системы. Но сама система, состоящая из двух близких по параметрам звезд, должна быть симметричной относительно плоскости, проходящей через внутреннюю точку Лагранжа и перпендикулярной оси, соединяющей центры двух компонент системы. Наличие двух мод азимутальной неоднородности оболочки было бы более ожидаемым результатом.

По фазовой зависимости на рис.5 можно найти скорость центра тяжести оболочки, вращающейся вокруг системы с периодом  $P = 1^{4}.610$  ( $\gamma = 25.4 \text{ км/c}$ ). Эту величину можно считать скоростью собственного движения центра тяжести системы. Интересно сопоставить ее с другими существующими оценками +31.1 км/c (по IS DNaI) и +21.7 км/c (база данных SIMBAD). Как мы уже отмечали, узкие линии DNaI могут формироваться не только в межзвездном пространстве, но и в удаленных частях околозвездной оболочки. Отсюда их наблюдаемая переменность и некоторое отличие от величины  $\gamma$ , определенной для центра масс системы. Наш результат, полученный по линии Н $\alpha$ , нашел дальнейшее убедительное подтверждение при анализе спектров, включающих линию HeI 6678.

2.2.3. Линия Hel 6678. Линия Hel 6678 в спектрах обычных звезд является атмосферной абсорбционной линией, достигающей наибольшей глубины и эквивалентной ширины именно у звезд класса B2. У звезд с развитыми газовыми оболочками линия сильно искажена влиянием околозвездной среды, на ее профиле может появиться как эмиссия, заливающая атмосферный профиль, так и дополнительная глубокая абсорбционная компонента околозвездного происхождения.

На рис.6 и 7 представлены нормированные профили линии Hel 6678, наблюдавшиеся в разные даты на разных фазах фотометрического периода  $P = 1^3.610$ . Они были рассчитаны путем усреднения всех спектров в области этой линии, полученных в одну ночь. Уровень непрерывного спектра на рисунках проведен без учета его изменения вследствие циклической переменности блеска объекта. Благодаря тому, что в каждую ночь спектры в области Hel 6678 наблюдались по несколько раз (2-3 спектра), отношение S/N на усредненных профилях достигало величин от 150 до 300. Для сравнения на рисунках показаны также синтетические профили атмосферной линии Hel 6678, рассчитанные по программе Пискунова SYNTH+ROTATE [13] для модели:  $T_{\mu\phi\phi} = 20000$  K и log g = 4.0. Расчеты проводились для двух значений проекционной скорости вращения  $v\sin i$  для этого объекта (см. обзор [1], а также базу данных SIMBAD).

На рис.6 и 7 все профили приводятся в порядке увеличения фазы периода  $P = 1^d.610$ . Вблизи фазы 0 (середина минимума I на кривой блеска) профили по ширине соответствуют теоретическому с  $v \sin i = 400$  км/с. На них видны также два эмиссионных пика в области отрицательных и положительных скоростей, причем отношение V/R > 1. Профили разделяет узкое абсорбционное ядро, по глубине опускающееся ниже уровня атмосферного синтетического профиля. На фазах 0.26-0.30 эмиссионные пики видны неотчетливо, профиль становится уже в крыльях (и соответствует модели атмосферы с  $v\sin i = 300$  км/с), а абсорбционное центральное ядро увеличивается по глубине. На фазе около  $\Phi = 0.40$  крылья профиля остаются такими же по ширине, снова появляются лва эмиссионных пика, но уже примерно равные по интенсивности ( $V/R \sim 1$ ). На фазе около  $\Phi = 0.5 - 0.6$ крылья профиля опять становятся широкими (как на фазе  $\Phi = 0.0 - 0.1$ ), но у эмиссионных профилей соотношение интенсивностей уже противоположное (V/R < 1). На фазе  $\Phi = 0.75$  вид профилей такой же, как на  $\Phi = 0.25$ . Их крылья опять сужаются, эмиссионные пики уже малозаметны, а центральное ядро увеличивается по глубине.



Рис.6. Изменения нормированного профиля линии Hel 6678, усредненного в каждую ночь наблюдений, с фазой Ф фотометрического периода  $P = 1^d.609821$  в интервале фаз от 0 до 0.5 (область минимума 1). Синтетические профили, рассчитанные для модели:  $T_{sep} = 20000$  K, log g = 4.0 и rsin i = 300 и 400 км/с, приведены для сравнения. Уровень  $F_s$  везде принят за 1 без учета его изменения при фотометрических затмениях. Отношение S/N для каждого усредненного профиля лежит в пределах от 150 до 300.





В целом всю наблюдающуюся переменность можно описать как комбинацию глубокой околозвездной абсорбционной компоненты (центральное ядро) и 2-х эмиссионных пиков переменной интенсивности и ширины. На фазах сразу после минимумов блеска ( $\Phi = 0.00 - 0.10$  и 0.50-0.60) оба эмиссионных пика интенсивные и узкие, а их положения сдвигаются к центру профиля. При этом крылья голубого и красного пиков пересекаются, и эмиссия заливает центральное ядро, оно становится мельче. На фазах максимума блеска ( $\Phi = 0.26 - 0.30$  и около 0.75) ширины эмиссионных пиков увеличиваются, а их положения отодвигаются от центра профиля. Сами пики как бы размазываются по голубому и красному крылу общего абсорбционного профиля, линия выглядит более узкой, зато центральное ядро становится глубже.

На количественном уровне наблюдаемая переменность, а именно, циклические изменения отношения V/R 2-х эмиссионных профилей, может быть описана в терминах отношения эквивалентной ширины половины

## М.А.ПОГОДИН И ДР.

линии в области  $V_{i} < 0$ , EW(V), и в области положительных лучевых скоростей, EW(R). Понятно, что каждая из этих половин содержит свой эмиссионный пик персменной интенсивности. На рис.8 приведена зависимость EW(V)/EW(R) от фазы фотометрического периода  $P = 1^{d}.610$ . Она достаточно четкая и ее реальность не вызывает сомнений. Если ее сопоставить с фазовой зависимостью  $V_{in}$  эмиссионного профиля H $\alpha$ , то можно увидеть некоторый фазовый сдвиг между ними ( $\Delta \Phi \sim 0.20$ ).



Рис.8. Корреляция показателя асимметрии профиля линии Hel 6678 с фазой Ф фотометрического периода *P* = 1<sup>4</sup>.609821. Показатель определен как отношение эквивалентных ширин ЕW двух половин профиля: EW(V) для *V* < 0 и EW(R) для *V* > 0. Светлыми кружками помечены значения, соответствующие более широким профилям с менее глубоким центральным ядром, на которых четко видны два эмиссионных пика. Черные кружки соответствуют более узким и глубоким профилям, на которых эмиссионные пики плохо различимы (см. рис.6 и 7). Средняя точность определения показателя асимметрии составляет ±0.02.

3. Обсуждение результатов. Обнаруженная нами переменность парамстров околозвездных линий и ее корреляция с фазой врашения двойной системы с предполагаемым периодом  $P=1^4.610$  свидетельствует о существовании взаимосвязи между системой и ее околозвездной оболочкой. В настоящее время преждевременно предлагать однозначную интерпретацию этого явления, полученных данных наблюдений пока для этого недостаточно. Мы можем только перечислить несколько возможных подходов, в рамках которых можно будет проводить дальнейшее исследование:

а) Модуляция параметров аккреционного потока из околозвездного диска вращением двойной системы. Возможность такого сценария должна быть подтверждена специальными теоретическими расчетами. Но даже если допустить, что параметры газа в основании аккреционного потока могут быть различными в зависимости от того, как по отношению к нему ориентирована вращающаяся система, трудно представить, чтобы два компонента системы, имеющие одинаковые параметры, влияли бы на аккрецируемый газ неодинаково. В случае этого сценария циклическая переменность околозвездных линий с *Р*~0<sup>4</sup>.805 была бы более вероятна.

б) Формирование глобальной азимутальной неоднородности оболочки, как результат локального истечения газа из системы в околозвездную среду. Это может быть проявлением магнитного поля особой асимметричной конфигурации. Такое локальное образование (типа струи), врашаясь вокруг системы с периодом, равным орбитальному, должно иметь изогнутую форму вследствие дифференциального врашения газа внутри струи. Если предположить, что во время первого затмения (фотометрический минимум I) истечение газа происходит из затмевающего компонента, то на фазе  $\Phi = 0$  и сразу же после нее неоднородность будет двигаться в сторону наблюдателя, после второго затмения (минимум II) - в противоположную сторону, а в состоянии максимума блеска – поперек луча зрения.

Такая картина, в первом приближении, подтверждается данными спектральных наблюдений как в области эмиссионной линии Hα, так и линии HeI 6678.

4. Заключение. В этом разделе мы перечислим основные результаты, полученные в ходе нашего фотометрического и спектрального исследования Ве-звезды Хербига HD 52721.

- Фотометрия в интегральном свете, проведенная с использованием ПЗС-камеры с широкой полосой спектральной чувствительности, позволила построить с высокой точностью кривую блеска объекта, подтвердить наличие у него циклической переменности с периодом  $P = 0^4.805$ , обнаруженной ранее другими исследователями, и рассчитать моменты минимумов блеска с точностью  $\pm 0^4.001$ . Дополнительный анализ данных ASAS показал, что минимумы, повторяющиеся с этим периодом, отличаются друг от друга по форме, и что истинным периодом является удвоенный P = 1.610 суток.

- Анализ данных спектроскопии, проведенной с использованием спектрографа высокого разрешения ( $R \sim 25000$ ) в области эмиссионных линий Н $\alpha$  и Hel 6678, имеющей сильную околозвездную компоненту, позволил установить, что параметры этих линий показывают уверенную корреляцию с фазой фотометрического периода  $P = 1^{4}.610$ .

- Был сделан вывод, что наблюдаемая картина явлений может быть объяснена на качественном уровне, если предположить, что в оболочке объекта существует устойчивая азимутальная неоднородность, врашающаяся вокруг системы с периодом, совпадающим с орбитальным периодом системы. Такая неоднородность могла бы возникнуть при истечении вещества из системы в околозвездную оболочку в виде одной локальной струи. Природа подобного истечения будет предметом нашего дальнейшего исследования этого интересного объекта. Возможно, что причина появления осевой асимметрии оболочки связана с особенностями звездного магнетизма системы.

Хотелось бы подчеркнуть, что несмотря на то, что в ходе нашей

наблюдательной программы были получены новые интересные результаты. объект требует дальнейшего исследования. Во-первых, необходимо полтверждение того, что HD 52721 представляет собой двойную систему. состоящую из двух звезд-близнецов класса В2 на базе спектроскопии высокого разрешения в области атмосферных линий, свободных от околозвездного искажения. Такие линии должны наблюдаться в области 224000 - 5000ÅÅ. Тесные двойные системы, подобные HD 52721, должны быть синхронизованы, и мы можем ожидать циклических изменений профилей атмосферных линий, коррелирующих с фазой орбитального периода Р На фазах максимального блеска, когда оба компонента системы расположены близко к картинной плоскости и двигаются в разные стороны по отношению к наблюдателю, профиль атмосферной линии должен быть широким с искажениями в крыльях. При большем пространственном разнесении компонент он бы уже выглядел как профиль с двумя абсорбционными минимумами. На фазах затмения, когда обе звезды двигаются ортогонально лучу здения, шидина линии должна резко уменьшаться.

Кроме того, очень важным результатом было бы прямое измерение магнитного поля объекта. которое тоже может быть переменным с этим же периодом. Наконец, необходимо теоретическое исследование, которое смогло бы объяснить механизм возникновения глобальной азимутальной неоднородности в околозвездной оболочке системы.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН №4 (проекты №2 и 3) и Программы "Ведущие научные школы" (грант № НШ-3645.2010.2). Авторы благодарят также сотрудников КрАО И.Ю.Алексеева, О.В.Козлову и Т.Н.Тарасову за помощь при наблюдениях на телескопе ЗТШ-2.6м, С.А.Ламзина и Н.Н.Самуся за полезные замечания.

- <sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: pogodin@gao.spb.ru
- <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, e-mail: naum.rusomarov@gmail.ru

## HD 52721 - A CLOSE BINARY SYSTEM AMONG HERBIG Ae/Be STARS

#### M.A.POGODIN<sup>1</sup>, N.G.BESKROVNAYA<sup>1</sup>, I.S.GUSEVA<sup>1</sup>, S.E.PAVLOVSKIY<sup>1</sup>, N.RUSOMAROV<sup>2</sup>

We present results of photometric and high-resolution spectroscopic observations of the Herbig Be star HD 52721 obtained between October 2009

and October 2010. We confirm the cyclic character of photometric variability of HD 52721 with the period of 0<sup>d</sup>.805 revealed earlier by other investigators. Variability exhibits itself in a form of two minima on the light-curve, typical for eclipsing binaries and separated by 0<sup>d</sup>.805. ASAS data taken with a time span of 6 years (from September, 2003 till December, 2009) revealed a difference between two neighboring photometric minima thus showing that the real orbital period of the system should be twice this value (1<sup>d</sup>.610). This is confirmed by our spectroscopic data. The gravity centre of the emission H $\alpha$ line and the profile of the HeI 6678 line with a developed circumstellar component demonstrate a clear correlation with the period of 1<sup>d</sup>.610. Apparently, HD 52721 is a close binary, containing two B2 stars with similar parameters. We assume that cyclic variations of circumstellar parameters can be connected with the presence of global azimuthal inhomogeneity rotating synchronously with system components.

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

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. H.R.E.Tjin A Djie, M.E. van den Ancker, P.F.C.Blondel et al., Mon. Notic. Roy. Astron. Soc, 325, 1441, 2001.
- 2. U. Finkenzeller, R. Mundt, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 55, 109, 1984.
- 3. G.H.Herbig, Astrophys. J. Suppl. Ser., 4, 337, 1960.
- 4. J.J.Claria, Astron. J., 79, 1022, 1974.
- 5. O.V. Ezhkova, IBVS, 4693, 1, 1999.
- 6. F. Praderie, C. Catala, J. Czarny, H.R.E. Tjin A Djie, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 89, 91, 1991.
- 7. ESA, the Hipparcos Catalogue, ESA SP-1200, 1997.
- 8. P. Corporon, A.M. Lagrange, Astron. Astrophys., 136, 429, 1999.
- 9. M.A. Pogodin, V.P. Malanushenko, O.V. Kozlova, T.N. Tarasova, G.A.P. Franco, Astron. Astrophys., 452, 551, 2006.
- О.В.Ежкова, Исследование фотометрической и спектральной переменности избранных Ае/Ве звезд Хербига. канд. дисс., Ташкент, 2000.
- 11. J.Lafler. T.D.Kinman, Astrophys. J. Suppl. Ser., 11, 216, 1965.
- 12. G. Pojmanski, Acta Astronomica, 52, 397, 2002.
- 13. N.E. Piskunov, in: Stellar Magnetism, 92, Nauka, St. Petersburg, 1992.