УДК 524.33

А. В. АНДРЕЕВ, А. В. КУРЧАКОВ, Ф. К. РСПАЕВ

HD 200775: РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИНИИ H_α

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Приводятся результаты и анализ спектральных наблюдений звезды HD 200775. В процессе обработки результатов измерений линии H_α был уточнен период изменения эквивалентных ширин, который оказался равным P = 1349.9±6.3 дня. Было выявлено, что максимум эквивалентных ширин достигается с некоторым опозданием относительно моментов, когда звезда находится в периастре. Обнаружено, что смена отношений синей V и красной компонент R профиля линии V/R >1 на значение V/R <1 происходит гораздо чаще, чем период изменения блеска H_α. Кроме того, были определены абсолютные значения потока в линиях H_α и H_β для случаев, когда EW достигало максимума и минимума, и было выявлено, что бальмеровский декремент (H_α/H_β) остаётся постоянным и равен (H_α/H_β) = 8.

Введение. HD200775 (MWC 361) является одной из ярких звёзд типа Ae/Be Хербига, расположенной в отражательной туманности NGC 7023 (рис. 1). Вокруг звезды находится небольшая (около 10") HII область. Объект расположен в центре области звёздообразования, которая содержит около 15 молодых звёзд типа T Тельца и ИК источников низкой светимости. В видимой области спектра звезды наблюдаются сильные эмиссионные линии водорода серии Бальмера. Линии водорода часто имеют двойной пик и переменную структуру. В спектрах присутствует запрещенная линия кислорода [OI] 6300. Линии HeI наблюдаются в абсорбции, а фотосферный спектр оценивается как B3e. Характер изменения контуров линии и их интенсивностей таков, что приходится признать наличие взаимодействия звёздного ветра с внешней оболочкой, которая сама по себе неоднородна. Таким образом, очевидна необходимость продолжения наблюдений, чтобы объяснить весь механизм взаимодействий. Наиболее полный спектральный анализ по ранее выполненным наблюдениям проведен в работах [1, 2].

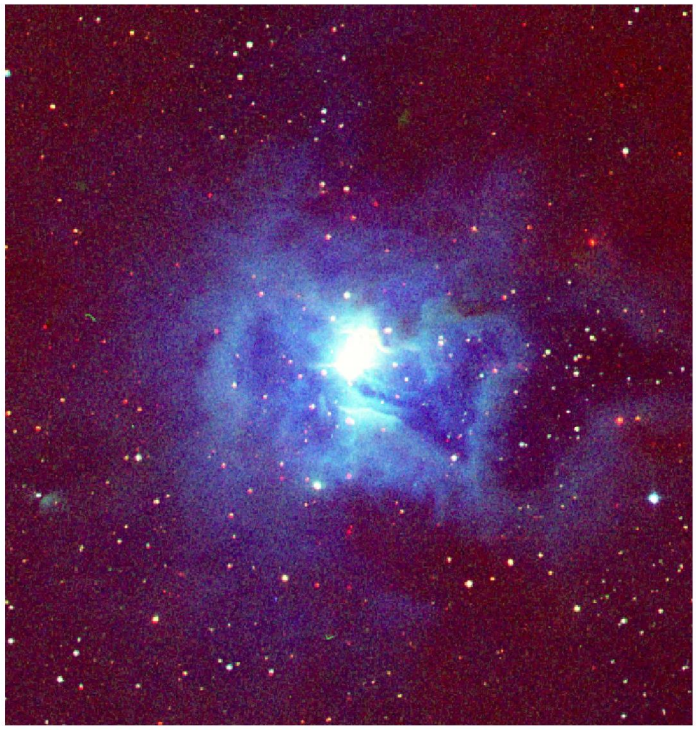

Рис. 1. Отражательная туманность NGC 7023

Наблюдения. Спектральные и фотометрические наблюдения этого объекта были выполнены на метровом телескопе (обсерватория Ассы-Тургень, высота 2700 м) Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова в 2005-2009 годах. Для наблюдений был использован спектрограф UAGS, установленный в кассегреновском фокусе однометрового телескопа Цейсса. Приемник излучения – ПЗС-матрица ST8-Ei. Обратная дисперсия спектрографа 0.5 Å/пиксел. Наблюдения проводились в области линий H_α и H_β.

Параллельно со спектроскопией проводилась BVRI фотометрия объекта с помощью фотометра (в качестве приемника излучения ПЗС-матрица ST7).

Результаты спектральных измерений

В этой работе мы проводим анализ спектральных изменений звезды HD 200775. Ниже в табл. 1 приводятся результаты наблюдений линии H_α.

Таблица 1. **Результаты наблюдений HD200775 в линии H_α**

DATE	JD2400000	EWH_α	I_b	I_a	I_r	V_{a-b}	V_{r-a}	V/R
1	2	3	4	5	6	7	8	9
05.09.2005	53619.23	72.90	10.24	7.50	7.68	90.52	30.67	1.33
28.10.2005	53672.18	66.40	8.61	6.03	7.35	68.04	45.35	1.17
29.11.2005	53704.32	66.40	8.10	6.54	7.79	68.08	45.36	1.04
30.11.2005	53705.31	62.90	7.53	6.22	7.34	68.03	45.35	1.03
18.08.2006	53966.33	59.90	7.55	5.13	6.03	90.71	43.35	1.25
26.09.2006	54005.09	58.00	7.24	5.28	5.36	68.03	45.35	1.35
10.08.2007	54323.21	60.90	7.25	6.25	6.85	68.03	45.35	1.06
12.08.2007	54325.26	61.20	7.35	5.63	6.94	45.35	68.04	1.06
13.08.2007	54326.24	64.00	7.70	5.71	7.07	45.36	68.03	1.08
09.09.2007	54353.19	62.80	7.56	6.18	7.20	68.03	45.36	1.05
10.09.2007	54354.17	61.10	7.45	6.21	7.09	68.03	45.36	1.05
28.08.2008	54707.28	114.40	12.18	11.86	14.95	23.02	67.70	0.81
02.10.2008	54742.13	112.96	11.92	12.58	16.07	45.36	45.35	0.74
21.08.2009	55065.20	66.83	8.14	6.98	8.40	45.36	45.36	0.97
23.08.2009	55067.15	67.56	8.36	7.12	8.26	68.03	45.40	1.01
14.10.2009	55119.07	63.50	7.81	7.12	7.22	45.36	45.34	1.08
15.10.2009	55120.08	61.12	7.71	6.74	7.16	45.35	45.36	1.07
20.10.2009	55125.08	62.70	7.93	7.09	7.32	45.35	45.35	1.08
21.10.2009	55126.06	62.66	8.06	7.03	7.30	72.75	40.64	1.10
14.11.2009	55150.05	60.70	8.10	6.47	6.83	90.70	45.36	1.18
17.11.2009	55153.04	67.90	8.89	7.03	7.76	68.03	68.03	1.16
20.11.2009	55156.03	65.28	8.01	6.97	7.36	68.03	44.76	1.08
19.12.2009	55185.01	58.62	6.47	5.77	7.01	45.35	68.03	0.96

В столбцах таблицы даны: 1 – дата наблюдений; 2 – юлианская дата; 3 – эквивалентная ширина в ангстремах; 4-6 – интенсивности синей, абсорбционной и красной компонент, нормированных к непрерывному спектру; 7-8 – скорости синей и красной компонент по отношению к абсорбционной линии; 8 – отношение максимальных значений остаточной интенсивности синей и красной компонент, где $V/R = (I-I_{cont})_b/(I-I_{cont})_r$.

Как было отмечено выше, водородные линии имеют двойной пик и переменную структуру, т.е. на эмиссионную линию накладывается линия поглощения. Для иллюстрации на рис. 2 изображен спектр HD200775 за 28 августа 2008 год в области линии H_α. На этом же спектре обозначены линии других элементов.

Практически все спектры имеют один и тот же набор эмиссионных линий и линий поглощения. Однако для разных дат наблюдений их контуры и интенсивность могут существенно отличаться (см. рис. 3, a, b).

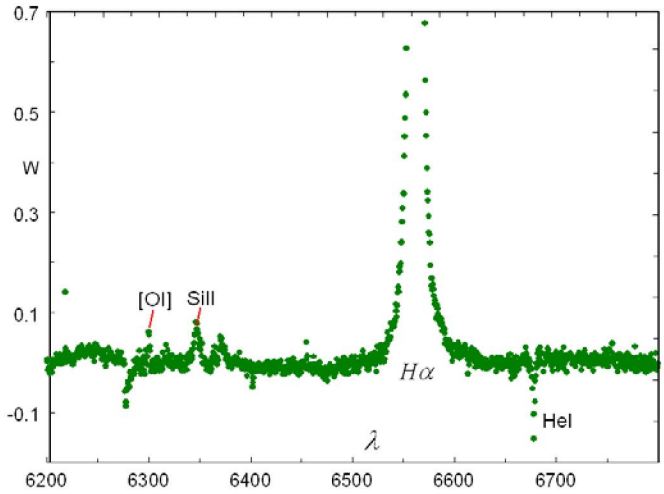

Рис. 2. Красная область спектра HD200775

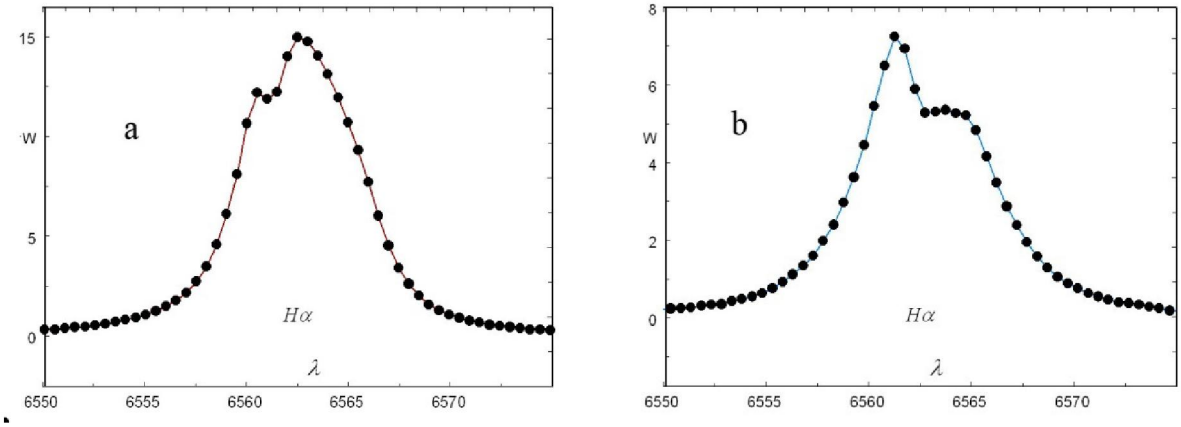

Рис. 3. Наблюдаемые контуры спектральной линии H_α для дат:
a – 28.08.2008 и b – 26.09.2006

Положение максимальной интенсивности эмиссии H_α соответствует гелиоцентрической длине волны λ_0=6562.85. Как видно из рисунков, абсорбционная компонента может быть смещена как в синюю (рис. 3,a), так и в красную область спектра (рис. 3, b). Результаты наблюдений, выполненных в АФИФ, и наблюдения других авторов [1-2] показывают, что эквивалентная ширина линии H_α меняется со временем.

На рис. 4 показано значение эквивалентной ширины EW для разных юлианских дат. Как видно из рисунка, имеется периодический характер изменения значений эквивалентной ширины. И более того, имеется тенденция к росту эквивалентной ширины со временем. Сравнивая максимумы EW для разных эпох, мы получили соотношение:

$$EW(t) = EW_0(t_0) + 0.0051 \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

где t = JD-t_0, t_0 = 2449575.83

Исправленные за тренд эквивалентные ширины EW (приведённые к эпохе t_0) изображены на рис. 5.

В качестве функциональной модели EW(t) для получения периода был выбран первый член разложения в ряд Фурье:

$$EW(t) = a + b \cdot \cos(\frac{2\pi \cdot t}{p} + f), \quad (2)$$

где t = JD-2400000, p – период, f – фаза.

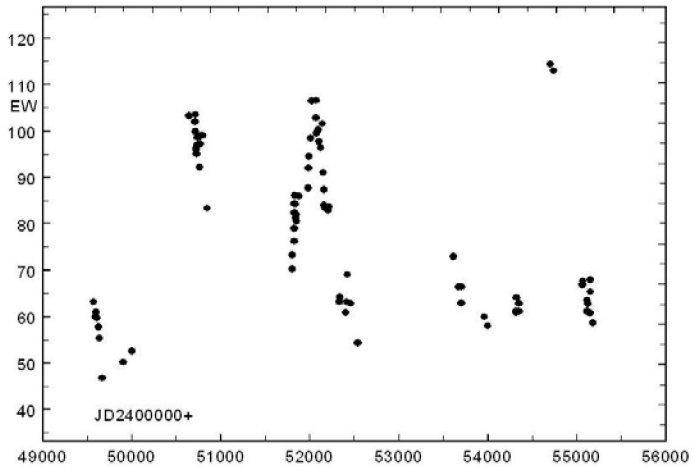

Рис. 4. Значения эквивалентной ширины EW для разных юлианских дат

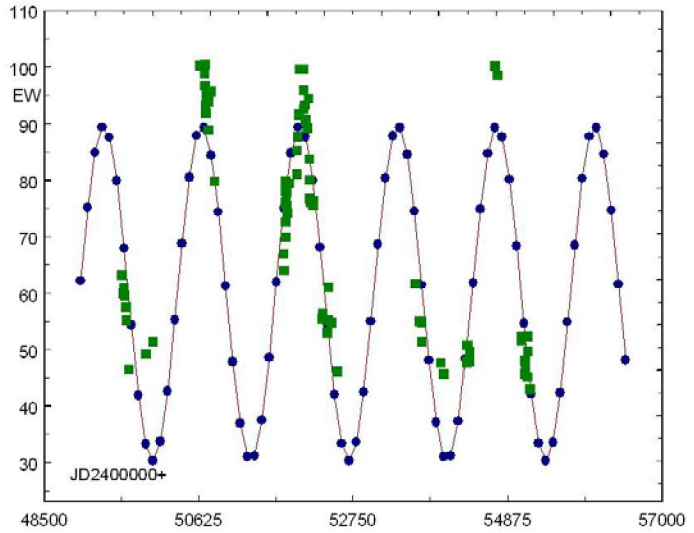

Рис. 5. Исправленные за тренд эквивалентные ширины EW

Для поиска параметров a, b, p, f был использован математический пакет программ AXUM 5.0. Наиболее вероятными значениями оказались – a=59.9±1.1 (Å), b=29.6±4.5 (Å), p=1349.9±6.3 (дней), f=3.0±1.1 (радиан).

Результаты аппроксимации наблюдаемых данных формулой (2) при полученных параметрах представлены на рис. 5 в виде сплошной линии. Причины такого изменения эквивалентных ширин нам неизвестны. Но можно сделать некоторые предположения. Интерферометрические исследования показали, что HD200775 – тесная двойная звезда с суммарной массой $M_1+M_2 = 10.4M_\odot$[4], при этом $M_2 = 3.3$[1]. Орбита двойной системы очень вытянутая. В периастре расстояние между объектами менее 4 а.е. В моменты таких сближений происходит сильное взаимодействие между звёздами, способное внести сильную пертурбацию в околозвёздной оболочке и существенно увеличить яркость в линии H_α. По разным данным периоды обращения колеблются P = 1341±41[2] и P = 1412±54[3], P = 1377±25 [4], что очень хорошо совпадает с периодом изменения величины EW, полученным нами. Один из моментов сближения звёзд в периастре T_0(JD)=2449150±88. Учитывая значения периода, мы можем найти моменты сближения звёзд T(JD)=T_0(JD)+kP, где k = 1,2,3…

В табл. 2 в колонке 1 указаны значения минимального и максимального возможных периодов обращения двойной звезды, а в колонках 2-6 – моменты прохождения звезды через периастр, для EW_{max} – моменты достижения максимума. Как видно из табл. 2, в моменты сближения звёзд

Таблица 2. **Даты максимальных значений EW и моментов прохождения звезды через периастр**

	T(JD)	T_0(JD)+1P	T_0(JD)+2P	T_0(JD)+3P	T_0(JD)+4P
1	2	3	4	5	6
P=1341	2449150	2450491	2451832	2453173	2454514
P=1377	2449150	2450527	2451904	2453281	2454638
EW_{max}	–	2450714	2452070	–	2454742

эквивалентная ширина EW достигает максимума с некоторым опозданием. Последнее можно объяснить процессами, происходящими в газовой оболочке.

Однако не всё так однозначно. Изменения отношений синей компоненты профиля к красной (V/R) в других объектах часто объясняют двойственностью звездных систем, но для HD 200775 этот механизм не проходит. Наши наблюдения показывают, что смена отношения V/R >1 на значение V/R <1 происходит гораздо чаще, чем период изменения блеска H_α. У нас, к сожалению, не хватает данных, чтобы установить, имеется ли периодичность изменения V/R. По крайней мере, остаётся неясным, как связать эти изменения с двойственностью звезды.

Кроме того, были определены абсолютные значения потоков в линиях H_α и H_β для случаев, когда EW достигало максимума и минимума. В качестве спектрофотометрического стандарта использовалась звезда λ Cyg Sp (B5). При этом обнаружено, что бальмеровский декремент (H_α/H_β) остаётся практически постоянным и равен (H_α/H_β)=8. Результаты измерений абсолютных потоков в линиях H_α и H_β, исправленные за межзвездную экстинкцию для значений параметра R_v=3.1 (в строчках 3,5,7,9) и R_v=5.0 (в строчках 4,6,8,10), приведены в табл. 3.

Таблица 3

Дата набл.	EWα	Hα 10^{-10} эрг/см^2*с	EW β	Hβ 10^{-13} эрг/см^2*с	Sp(α) эрг/см^2*с*A	Sp(β) эрг/см^2*с*A	EW(OI)	V	R	H_α/H_β
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
28.08.08	114.4	15.1	5.9	–	132.5	–	0.10	7.37	6.85	–
		37.8		–	339	–				–
02.10.08	112.9	14.0	5.8	1896.9	124.4	326.5	0.15	7.39	6.82	7
		35.9		5190	318	893.2				7
21.08.09	66.8	8.6	2.6	907.9	128.2	347.2	0.11	7.43	6.88	9
		22.1		2484	328	950				8
23.08.09	67.6	8.7	2.7	931.3	129.1	343.6	0.17	7.40	6.90	9
		22.3		2548	330	940				8

В колонках табл. 3 даны: 1 – дата наблюдения объекта, 2 – эквивалентная ширина H_α, 3 – абсолютный поток в H_α, 4 – эквивалентная ширина H_β, 5 – абсолютный поток H_β, 6, 7 – абсолютный поток непрерывного спектра в районе линий H_α и H_β, 8 – эквивалентная ширина линии (OI 6300A), 9, 10, – звёздные величины в фотометрических полосах V и R, 11 – бальмеровский декремент (отношение потоков H_α/H_β).

Результаты измерений эквивалентных ширин запрещенной линии [OI] 6300 Å хорошо согласуются с результатами наблюдений других авторов (0.12 – [5]; 0.14 – [6]; 0.10 – [7]) и, по-видимому, не подвержены значительным изменениям на протяжении многих лет.

Заключение. В результате проведенных исследований были определены следующие параметры и характеристики объекта HD 200775:

– уточнен период изменения эквивалентных ширин, который оказался равным P = 1349.9 ± 6.3 дня.

– выявлено, что эквивалентная ширина EW достигает максимума с некоторым опозданием относительно моментов прохождения звезды через периастр (минимальное расстояние между звёздами около 4 а. е).

– обнаружено, что смена отношений синей компоненты профиля V к красной -R V/R >1 на значение V/R <1 происходит гораздо чаще, чем период изменения блеска H_α. Из-за недостаточного количества наблюдений не удалось обнаружить, является ли это событие периодическим. Однако оно происходит чаще, чем прохождение звезды через периастр. Для выяснения причины этого явления требуются дальнейшие исследования.

– определены абсолютные значения потока для линий H_α и H_β для случаев, когда EW достигало максимума и минимума, и обнаружено, что Бальмеровский декремент (H_α/H_β) остаётся постоянным и равен (H_α/H_β) = 8. Такое постоянство, возможно, связано с постоянными физическими условиями n_e см$^{-3}$ и T_e K, а возрастание эквивалентной ширины в момент прохождения звезды через периастр можно объяснить дополнительным поступлением вещества в оболочку через приливные взаимодействия между звёздами.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pogodin M.A.,* et al. A new phase of activity of Herbig Be star HD 200775 in 2001: Evidence for binarity // A&A. 2004. V. 417. P. 715.

2. *Miroshnichenko A.S.,* et al. High State of Ha Emission Activity of the Herbig Be Star HD 200775 // PASP. 1998. V. 110. P. 883

3. *Alecian E.,* et al. Characterization of magnetic field of the Herbig Be star HD 200775 // MNRAS. 2008. V. 385. P. 391-403.

4. *Monnnier J.D.,* at al. Few Skewed Disks Found in First Closure-Phase Survey of Herbig Ae/Be Stars // Ap. J. 2006. V. 647. P. 444.

5. *Böhm T., Catala C.* Forbidden lines in: the [OI] (1F) 6300.31 Å and 6363.79 Å lines. I. Observations and qualitative analysis // A&A. 1994. V. 290. P. 167-175.

6. *Corcoran M. & Ray T.P.* Forbidden emission lines in Herbig Ae/Be stars // A&A. 1997. V. 321. P. 189-201.

7. *Hernandez J.,* et al. Spectral analysis and classification of Herbig Ae/Be stars // A. J. 2004. V. 127. P. 1682-1701.

А. В. Андреев, А. В. Курчаков, Ф. К. Рспаев

HD 200775 ЖҰЛДЫЗЫНЫҢ H_α СЫЗЫҚТАРЫНЫҢ СПЕКТРЛІК ӨЗГЕРУЛЕРІНІҢ ТАЛДАУЫ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІ

HD 20075 жұлдызының спектрлік бақылауларының талдауы және нәтижелері берілген. Нәтижелерді өңдеу барысында H_α сызықтарын өлшегенде балама енінің өзгеру периоды анықталды, ол P = 1349.9±6.3 күнге тең болып шықты. Жұлдыз периастрада болған уақытта, балама енінің максимумы моментке салыстырғанда бірқатар кешігумен жететіндігі анықталған. H_α жалтырау периодының өзгеруіне қарағанда , V көк және R қызыл компонент сызығының профилдері V/R >1 мәніне V/R <1 ауысу қатынасы жиі болып тұратындығы табылды. EW максимумге және минимумге жеткенде, H_α және H_β сызықтарындағы ағынның абсолюттік мәні анықталды, сонымен бірге бальмер декременті (H_α/H_β) тұрақты болып қалады және ол (H_α/H_β) = 8 тең болатындығы табылды.

A. V. Andreev, A. V. Kurchakov, F. K. Rspaev

HD 200775: RESULTS AND ANALYSIS OF SPECTRAL VARIATIONS OF H_α LINE

In paper the results and analysis of spectral observations of star HD 200775 are given. In process of result measurements treatment of H_α line it was more precisely defined the period of equivalent width variations, which was equal to P = 1349.9±6.3 days. It was revealed that the maximum of equivalent widths is achieved with some delay relatively to the moments, when the star is in the periastron. It was detected that the replacement of ratios of blue component V and red one R of line profile V/R >1 on value V/R <1 occurs much often than the period variation of H_α brightness. Moreover it was derived the absolute flux values for H_α and H_β lines in cases when EW reached maximum and minimum, and was derived that the Balmer decrement (H_α/H_β) remains constant and was equal to (H_α/H_β)=8.