АСТРОФИЗИКА

TOM 49

ФЕВРАЛЬ, 2006

ВЫПУСК 1

УДК: 524.3-56

ВЛИЯНИЕ ЗВЕЗДНОГО ВЕТРА НА ДОЛГОВРЕМЕННУЮ ПЕРЕМЕННОСТЬ ЭМИССИОННОЙ ЛИНИИ Hα. СЛУЧАЙ Ас-ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА HD 31648

О.В.КОЗЛОВА Поступила 6 июля 2005 Принята к печати 14 ноября 2005

Приводятся результаты многолетнего спектрального мониторинга в области эмиссионной линии Hα Ас-звезды Хербига HD 31648. Показано, что переменность наблюдаемого профиля в значительной степени обусловлена изменением параметров истекающего околозвездного газа на шкале времени около 3-х лет.

1. Введение. HD 31648 (MWC 480) - изолированная Ае-звезда Хербига, находящаяся в области звездообразования Таигиз-Аигіда и характеризующаяся спектральным классом A2-A3e [1], признаками истечения вещества в спектре и слабой фотометрической переменностью (амплитуда в полосе V не превышает нескольких десятых звездной величины), что характерно для молодых звезд, ось вращения которых ориентирована по отношению к наблюдателю под сравнительно небольшими углами. Это подтверждают результаты Мэннигса и др. [2], получивших в миллиметровом диапазоне изображение околозвездного диска у этой звезды с наклоном к лучу зрения около $i = 30^{\circ}$.

Исследование таких объектов в последнее время позволило составить достаточно подробную картину характера взаимодействия между молодой горячей звездой и веществом ее околозвездного диска (см., например, обзор [3]). Однако основная часть этих исследований охватывает относительно небольшой промежуток времени и позволяет судить о физических процессах, протекающих в околозвездном диске на шкале времени, не превышающей один-два года. В то же время характер многолетней спектральной переменности этих звезд практически не изучен. Можно только утверждать, что некоторые из исследованных объектов показывают изменение параметров эмиссионной линии На на шкале времени порядка 3-х лет и более (см. работы [4,5]).

Важность этой проблемы обусловлена тем, что теоретически не предложено каких-либо физических механизмов, кроме возможной двойственности звезды, позволяющих объяснить существование спектральной переменности на многолетней временной шкале. Таким О.В.КОЗЛОВА

образом, подобные исследования могут не только дать толчок к новому пониманию этой проблемы, но и стимулировать новые работы по моделированию физических процессов, протекающих в околозвездных газопылевых дисках.

2. Наблюдения. Спектральные наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) в период с 1998г. по 2005г. Все спектры получены с помощью спектрографа Куде на 2.6-м телескопе КрАО (ЗТШ), оснащенном ПЗС-камерой. Спектральное разрешение составило около 0.3 Å. Всего было получено 67 спектров в области

Таблица 1

Лата	JD	S/N	EW	Дата	JD	S/N	EW
	+2450000		[Å]	1100 - 100	+2450000		[Å]
98-11-19	1137.437	50	23.7	02-11-02	2581.333	57.	26.0
98-12-15	1163.575	83	22.4	02-11-07	2586.482	105	21.8
99-01-18	1197.408	72	28.8	02-11-08	2587.419	80	22.5
99-01-20	1199.196	98	24.6	02-11-13	2592.305	97	20.2
-//-	1199.437	130	26.9	02-11-14	2593.447	96	19.0
99-02-17	1227.186	133	21.8	03-01-25	2665.207	71	24.0
99-02-18	1228.184	96	21.7	03-01-26	2666.219	52	25.2
99-02-20	1230.307	36	24.7	03-02-23	2694.199	96	24.2
99-03-04	1242.267	49	26.8	03-02-27	2698.209	110	22.7
99-03-06	1244.241	114	26.5	03-03-11	2710.297	97	20.9
-//-	1244.385	75	26.0	03-03-24	2723.219	91	21.2
99-08-19	1410.522	55	25.5	03-03-31	2730.183	99	22.1
99-08-20	1411.505	58	27.0	03-04-02	2732.183	89	23.0
99-08-22	1413.485	76	30.5	03-08-17	2869.563	93	18.6
99-08-24	1415.494	90	24.6	03-08-18	2870.524	90	15.8
99-11-08	1491.383	37	18.7	03-08-19	2871.515	85	15.9
00-01-05	1549.171	61	24.3	03-08-20	2872.513	88	16.6
00-01-08	1552.182	55	22.4	03-11-29	2973.380	54	19.8
00-10-31	1552.211	60	23.3	03-11-30	2974.396	92	22.5
00-12-25	1904.265	50	21.6	03-12-14	2988.305	101	21.5
00-12-28	1907.277	55	20.6	03-12-29	3002.527	66	19.8
01-01-26	1936.170	48	20.7	03-12-30	3003.424	99	21.2
01-02-10	1951.177	45	21.7	04-01-27	3032.211	56	21.6
01-03-14	1983.237	33	• 21.2	04-01-31	3035.557	51	20.8
01-03-17	1986.228	46	24.0	04-02-04	3058.217	63	22.0
01-09-20	2173.456	51	17.4	04-10-29	3308.290	15	19.4
01-11-17	2231.158	49	24.0	04-10-30	3309.280	45	18.9
01-12-27	2261.267	49	19.7	04-11-06	3316.251	46	18.8
02-03-12	2346.232	83	25.4	04-11-12	3322.260	30	21.7
02-03-13	2347.250	74	25.1	05-01-09	3380.469	- 25	19.4
02-03-14	2348.207	70	21.8	05-01-12	3383.344	178	22.0
02-08-29	2516.476	80	19.5	05-02-17	3419.232	82	21.4
02-08-31	2518.464	80	16.3	05-03-06	3436.300	57	19.8
02-10-12	2560.397	75	25.4				

ДАННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ HD31648

эмиссионной линии На. Данные о датах наблюдений, величине S/N и эквивалентной ширине EW приведены в табл.1.

При определении эквивалентной ширины проводилось вычитание фотосферного профиля, который рассчитывался методом синтетического спектра с помощью программы SYNTH Пискунова [6] и Венской базы атомных линий VALD[7]. При расчете были приняты следующие параметры: $T_{\mu\nu} = 9200$ K, $\log g = 4.0$, $V \sin i = 90$ км/с (см. [8]). Результирующая ошибка определения *EW* эмиссионной линии Н α не превышает 1 Å.

Полученные результаты были также дополнены данными Бескровной и Погодина [9], представляющими собой 7 спектров, полученных в период с 1996г. по 1998г. в КрАО на том же телескопе, что и представленные наблюдения. С целью получения однородного материала эти



Интенсивность

Рис.1. Профили эмиссионной линии Hα, наблюдаемые в спектре HD 31648: a) – профили с низким значением интенсивности эмиссии, b) – профили с промежуточной интенсивностью, с) – профили с высоким значением интенсивности.

О.В.КОЗЛОВА

спектры были обработаны по единой методике. Это означает, что между этими данными не существует систематических ошибок. Таким образом, результаты наблюдений позволяют проследить за переменностью HD 31648 в области линии H α на шкале времени 9 лет.

3. Результаты наблюдений. Полученные профили эмиссионной линии Нα, наложенные друг на друга и разделенные на три группы по интенсивности эмиссии *I*, показаны на рис.1. Как видно из рисунка, линия Нα имеет профиль типа Р Суд и представляет собой эмиссию с переменной абсорбцией в синем крыле, параметры которой меняются на шкале времени около суток. Такие профили характерны для молодых звезд с признаками ветра и обусловлены тем, что газ, формирующий звездный ветер, закрывает от наблюдателя часть звездного диска. Как известно (см., например, работы [8-9]), структура этого ветра сильно неоднородна и состоит из отдельных плотных струй, которые формируют переменные, смещенные в синюю сторону абсорбционные компоненты, наблюдаемые как в линии Нα, так и в линиях резонансного дублета натрия Na I D.

Эти компоненты хорошо видны на рис.1. В некоторые даты в результате блендирования наблюдаются сложные профили с широким, плоским дном, выделить в котором отдельные компоненты практически невозможно. В то же время, наиболее заметный вклад в общий вид профиля оказывают две абсорбционные компоненты, формирующиеся преимущественно в области низких значений лучевых скоростей (около -100 км/с) и сравнительно высоких (около -200 км/с). В отдельные ночи в полученных профилях можно заметить также третью компоненту,



Рис.2. Определение параметров эмиссионного профиля линии Hα: интенсивности эмиссии I, интенсивности абсорбционных компонент I, и лучевых скоростей эмиссионных компонент V, на примере профиля, полученного 27 декабря 2001г. (предварительно из него был вычтен фотосферный профиль). скорость которой достигает -350 км/с и более, а время переменности составляет несколько часов (см. работы [8-9]).

Значительная переменность интенсивности эмиссии, представленная на рис.1, происходит на шкале времени несколько лет. Как видно из рисунка, вместе с интенсивностью изменяется и сам профиль. Для исследования этой переменности из наблюдаемых спектров был вычтен фотосферный профиль, рассчитанный методом синтетического спектра (см. выше). Пример определения параметров полученного в результате этого эмиссионного профиля линии приведен на рис.2. Здесь I интенсивность эмиссии, а $V_{\rm obs}$ и $I_{\rm obs}$ - соответственно лучевая скорость и интенсивность смещенных в синюю сторону абсорбционных компонент.

Зависимость этих параметров, а также эквивалентной ширины эмиссии *EW* от юлианской даты показана на рис.За и 3b. Как видно из этих результатов, наиболее сильная переменность происходит на шкале времени порядка нескольких суток или более. Этот факт хорошо известен и связан с вращательной модуляцией, обусловленной неоднородной структурой околозвездного газа, формирующего звездный ветер (см. работы [8-11]).

Как видно также из рис.3; в изменении указанных параметров заметны два максимума значений, наблюдавшихся в моменты JD51200 и JD52300, когда эквивалентная ширина и интенсивность эмиссии, а также глубина абсорбционных компонент и их лучевая скорость увеличивались. Характерное время этой переменности составляет около 3-х лет.



Рис.3а. Зависимость параметров эмиссионной линии На от юлианской даты. Пустыми треугольниками обозначены данные Бескровной и Погодина [9]. Следует также отметить, что в изменении ЕШ заметен многолетний тренд, продолжительность которого составляет около 9 лет или выше.



Рис.3b. Зависимость от юлианской даты лучевых скоростей V и интенсивности I смещенных в синкою сторону абсорбционных компонент (темные кружки - низкоскоростной абсорбционный компонент, пустые кружки - высокоскоростной абсорбционный компонент, большими и маленькими квадратами соответственно обозначены данные Бескровной и Погодина [9]).

В то же время тренд в распределении интенсивности *I*, несмотря на их хорошую корреляцию друг с другом (см. рис.4), не заметен.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Обнаружена зависимость между интенсивностью абсорбционных компонент *I* и их лучевой скоростью *V* (рис.5а). Она выражается в том, что более высокое значение лучевой скорости соответствует большей глубине линии.

2. Отмечается связь между переменностью лучевой скорости абсорбционных компонент V, и интенсивностью эмиссии I (рис.5b). Ее отличительной чертой является тот факт, что в минимуме интенсивности наблюдаются только низкоскоростные компоненты. При дальнейшем росте I появляется сначала более высокоскоростная компонента, а затем, в максимуме интенсивности, наблюдается абсорбционная компонента с максимальной скоростью истечения газа, достигающей более 300 км/с.

3. Низкоскоростная компонента ветра наблюдается практически постоянно, тогда как более высокоскоростные компоненты появляются в спектре звезды в середине и вблизи максимума активности.



Рис.4. Зависимость эквивалентной шарины эмиссии *EW* и глубины абсорбционных компонент *I* (темные кружки - низкоскоростной абсорбционный компонент, пустые кружки - высокоскоростной абсорбционный компонент) от интенсивности эмиссии *I*.

Эти результаты означают, что изменение интенсивности эмиссии обусловлено изменением параметров истекающего околозвездного газа на луче зрения и происходит на шкале времени порядка 3-х лет. Многолетний тренд, отмечаемый в распределении эквивалентной ширины эмиссии EW, не заметен в распределении интенсивнсти I, и, таким образом, может быть обусловлен другими причинами.

4. Обсуждение. Анализ полученных результатов позволяет предложить следующую модель многолетней спектральной переменности HD 31648. Истечение газа происходит не равномерно, а стратифицировано по долготе и формирует две (или более) струи. Они отличаются друг от друга скоростью истечения. При этом параметры истечения, такие, как скорость, плотность и т.д., меняются на шкале времени порядка 3-х лет. Благодаря этому в максимуме активности отмечается наибольшая скорость истечения и глубина абсорбционных компонент, а также рост интенсивности и эквивалентной ширины эмиссионной линии Hα.

Кроме того, в переменности эквивалентной ширины эмиссии *EW* отмечается многолетний тренд, с характерным временем порядка 9 лет



Рис.5. Зависимость лучевой скорости абсорбционного компонента V от интенсивности эмиссии I и от глубины абсорбции I...

(или больше). Он может быть связан с изменением параметров самого аккреционного диска, таких, как плотность и температура.

Среди возможных физических механизмов, способных объяснить обнаруженную многолетнюю спектральную переменность, может быть двойственность HD 31648. Как известно, присутствие у звезды второго компонента может привести к тому, что параметры аккреционного диска будут меняться на шкале времени, равной орбитальному периоду системы (см. работы [12,13]). Однако по данным Пирзкала и др. [14] у HD 31648 признаков двойственности не обнаружено. Периодический характер обнаруженной переменности также требует подтверждения.

Таким образом, вопрос о природе многолетней спектральной переменности HD 31648 остается открытым. Для ответа на него необходимы дальнейшие исследования, которые показали бы, насколько регулярной является обнаруженная пременность, или она носит локальный характер. Отдельный интерес представляет также исследование характера фотометрической переменности звезды на многолетней временной шкале и выявление возможной связи между ней и спектральной переменностью.

Автор выражает благодарность П.П.Петрову за ценные замечания, сделанные при обсуждении работы. Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 03-51-6311.

Крымская астрофизическая обсерватория, Украина, e-mail: oles@crao.crimea.ua

INFLUENCE OF STELLAR WIND ON THE LONG-TERM SPECTRAL VARIABILITY OF H α EMISSION. THE CASE OF HERBIG Ae STAR HD 31648

O.V.KOZLOVA

The results of high-resolution long-term spectral monitoring of Herbig Ae star HD 31648 in the region of emission H α line are presented. The received data show that the observed profile variability is caused mainly by the change of parameters of CS outflow gas on the time scale of about 3 years.

Key words: stars:stellar wind - individual:HD 31648

ЛИТЕРАТУРА

- 1. P.S.The, D. De Winter, M.R.Perez, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 104, 315, 1994.
- 2. V.Manings, D.W.Koerner, A.I.Sargent, Nature, 388, 555, 1997.
- 3. L.B.F.M. Waters, C. Waelkens, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 36, 233, 1998.
- 4. M.A.Pogodin, A.S.Miroshnichenko, K.S.Bjorkman, N.D.Morrison, C.L. Mulliss, Astron. Astrophys., 359, 299, 2000.
- 5. О.В.Козлова, Астрофизика, 47, 339, 2004.
- 6. *Н.Е.Пискунов*, Магнетизм звезд, ред. Ю.В.Глаголевский, И.И.Романюк, Наука, Санкт-Петербург, 1992, с.92.

О.В.КОЗЛОВА

- 7. F.Kupka, N.E.Piskunov, T.A.Ryabchikova et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 138, 119, 1999.
- 8. О.В.Козлова, В.П.Гринин, Г.А.Чунтонов, Астрофизика, 46, 265, 2003.
- 9. N.G. Beskrovnaya, M.A. Pogodin, Astron. Astrophys., 414, 955, 2004.
- N.G.Beskrovnaya, M.A.Pogodin, I.D.Najdenov, I.I.Romanyuk, Astron. Astrophys., 298, 585, 1995.
- 11. N.G.Beskrovnaya, M.A.Pogodin, A.S.Miroshnichenko et al., Astron. Astrophys., 343, 163, 1999.

and the second s

- 12. P.Artymowicz, S.H.Lubow, Astrophys. J., 421, 651, 1994.
- 13. P.Artymowicz, S.H.Lubow, Astrophys. J., 467, L77, 1996.
- 14. N.Pirzkal, E.J.Spillar, H.M.Dyck, Astron. J., 481, 392, 1997.

4