АСТРОФИЗИКА

TOM 39

АВГУСТ, 1996

ВЫПУСК 3

УДК: 524.31-325.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ а And. ПЯТНИСТАЯ HgMn ЗВЕЗДА?

В.П.МАЛАНУШЕНКО

Поступила 25 марта 1996 Принята к печати 20 апреля 1996

По наблюдениям 1989-1994гг. рассматриваются результаты измерений лучевых скоростей по линиям SiII λλ 6347, 6371 ÅÅ и линии HeI λ 6678 Å. Проведен анализ переменности профилей линий в течение 96.6-дневного орбитального периода. Приводятся свидетельства обнаружения в спектре αАпd линий второго компонента, соответствующих линиям кремния λλ 6347, 6371 ÅÅ. Скорость вращения второго компонента составляет, по предварительной оценке, 100-120 км/с. Из анализа переменности лучевых скоростей линии HeI λ 6678 Å в течение ночи определен период вращения звезды P=1.4012344 и деластся вывод о неоднородном распределении содержания гелия по поверхности, или о неоднородном распределении физических условий. Таким образом получены первые свидстельства существования пятен на поверхности HgMn звезд.

1. Введение. Звезда α And относится к классу CP2 звезд (В9р, HgMn). Она хорошо доступна для наблюдений самыми разнообразными методами, является одной из наиболсе изученных звезд. Считается спектрально-двойной системой, открытой [1] с периодом 96. 696 [2]. Последние определения параметров двойной системы опубликованы [3] по спеклинтерферометрическим измерениям. Скорость вращения $V\sin i = 65 \text{km/c}$ [4]. Период вращения определен по фотометрическим измерениям $P_{\text{mt}} = 0.000$ вращения определению [6] имеет $T_{\text{eff}} = 137000$ K, 1000 kg = 3.7.

Наше внимание звезда привлекла:

а) Необычным соотношением между орбитальным периодом и периодом вращения. Отношение периодов составляет

$$P_{\text{orb}} / P_{\text{rot}} = 96.4696 / 0.49636 \approx 100.35 \approx 100 / (sideral day).$$

б) Необычной переменностью лучевых скоростей с амплитудой ≈ 9 км/с и периодом ≈ 0.4128 по наблюдениям в ультрафиолетовой области спектра резонансных линий Si и C [5].

Объяснением для а) может быть предположение об ошибочном определении одного из двух периодов. Подобные случаи хорошо известны [7]: при наблюдениях, разделенных интервалами, кратными суткам, регистрируется не истинный P_i , а стробоскопический P_i :

$$P_{i} = 1 / (1/P_{i} + k \times (sideral \ day)), \qquad k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Двойственность звезды является установленным фактом [3], но можно предположить, что период вращения звезды определен некорректно.

Существование переменности блеска и лучевой скорости с периодами

существенно короче орбитального представляется всеьма интересным. Для химически пекулярных звезд верхней части Главной последовательности единственно возможным объяснением подобной фотометрической переменности считается существование сильного дипольного магнитного поля и/или неоднородного распределения физических условий (или химического состава) по поверхности главного компонента системы. Переменность же лучевых скоростей с периодами намного короче суток невозможно объяснить и вращением звезды.

2. Наблюдения и обработка. Наши наблюдения были проведены в период 1989-1991гг. на 2.6-м телескопе Крымской обсерватории в спектрографе кудэ, оснащенном ССD камерой с чувствительным к

Таблица 1
ДАННЫЕ О НАБЛЮДЕНИЯХ «And

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
31.08.89	6371	47739.38	0.772	18
	6678			7
26.10.89	6371	47826.45	0.673	14
12.08.90	6347	48116.45	0.672	12
01.09.90	6347	48136.37	0.878	13
26.12.90	6347	48252.26	0.076	9
25.09.91	6678	48525.32	0.900	28
15.10.91	6678	48545.19	0.106	11
16.10.91	6678	48546.20	0.116	15
18.10.91	6678	48548.35	0.139	15
	6347	20.00	March Shape Shape	5
19.10.91	6678	48549.34	0.149,	13
	6347			- 3
20.12.93	6678	49342.36	0.348	5
0.01.94	6678	49373.30	0.667	3
6.08.94	6678	49581.38	0.819	3
7.08.94	6678	49582.38	0.830	5
6.10.94	6678	49642.38	0.450	5
9.10.94	6678	49645.33	0.480	16
1.10.94	6678	49647.37	0.502	9
2.10.94	6678	49648.36	0.512	12

Объяснение колонок: (1) дата; (2) спектральная область: (3) момент наблюдений в HJD - 2400000; (4) фазы орбитального движения, вычисленные по эфемеридам [3]; (5) количество спектров.

красной области GEC детектором. Разрешение составляет 0.056 Å/ріх, дисперсия 2.4 Å/мм, спектральный интервал составлял ≈ 31 Å (при размере матрицы 600×400 ріх), типичное отношение сигнал/шум составляло ~150-250 при экспозиции ~10 мин. Журнал наблюдений приведен в табл. 1.

Обработка всего наблюдательного материала была сделана, используя программу SPE, написанную сотрудником КрАО С.Сергеевым в Крымской обсерватории.

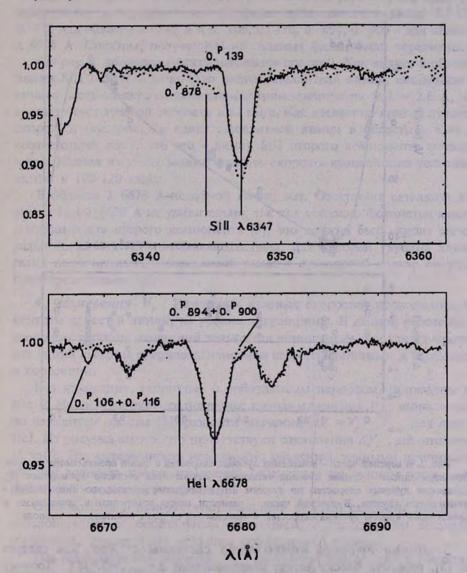


Рис. 1. Спектры «And, полученные на противоположных фазах орбитального периода в двух спектральных областях. Стрелками указано положение линий спектра главного компонента и предполагаемое положение линий второго компонента.

Для определения шкалы длин волн использовался спектр сравнения ториевой лампы, для линий кремния также использовались линии атмосферной воды. Дисперсионная кривая определялась как полином первой степени. Вначале спектры нормировались к континууму, затем проводились измерения лучевых скоростей для трех линий: двух линий SiII λλ 6347.11, 6371.37 ÅÅ и линии HeI λ 6678.15 Å. Длины волн линий измерялись по центрам тяжестей контуров на уровне полуширин линий.

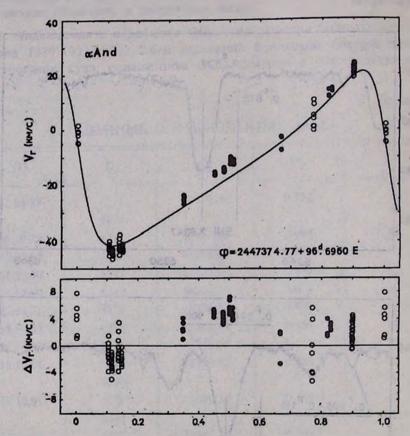


Рис. 2. В верхней части - изменения лучевых скоростей с фазой орбитального периода. Сплошная линия - кривая лучевых скоростей, вычисленная согласно эфемеридам [3]. Измерения лучевых скоростей по линиям SiII - открытые кружки, по линиям HeI - заполненные кружки. В нижней части - разности между измеренными значениями и вычисленной кривой лучевых скоростей в зависимости от фазы орбитального периода.

3. Линии второго компонента системы α And. Как следует из [3], разность блеска между компонентами $\Delta m_{5500,\lambda}=0.$ 188. Поэтому глубины линий спектра второго компонента ожидаются весьма небольшими, следовательно, необходимы наблюдения с высоким отношением S/N.

Из литературы известно лишь одно сообщение об обнаружении линый второго компонента [8] - для MgII λ 4481 Å и HeI λ 4471 Å. Однако автор приводит только один спектр, полученный на фотопластинке с типичными для фотоэмульсий большими шумами. Глубины линий, соответствующих второму компоненту, составляют около 5%, что примерно соответствует уровню шумовой дорожки фотоэмульсии. Поэтому достоверность результата достаточно низкая.

Для регистрации спектра второго компонента рассмотрены спектры, полученные на противоположных фазах орбитального периода: 0.' 139, 0.' 878 для области λ 6347 Å и 0.' 106, 0.' 116; 0.' 894, 0.' 900 – для области λ 6678 Å. Спектры, полученные на сходных фазах, были усреднены.

На рис. 1 приведены указанные выше спектры. Как видно, в области линии SiII λ 6347 Å отчетливо видна сателлитная линия, смещенная в синюю часть спектра относительно линии кремния на $\Delta \lambda = 2.6$ Å, что соответствует лучевой скорости в 62 км/с. Как следует из кривой лучевых скоростей (см. рис. 2), сдвиг сателлитной линии в области λ 6347 Å соответствует тому, что это - линия SiII второго компонента системы α And. Исходя из этого, можно оценить скорость вращения из уширения линии в 100-120 км/с.

В области λ 6678 Å подобной линии нет. Отсутствие сателлита для линии HeI λ 6678 Å не удивительно, так как согласно фотомстрическим оценкам цвета второго компонента [3], это должна быть звезда спектрального класса A0 или более холодная, для которой глубина линий гелия незначительна и ожидаемый вклад в суммарный спектр системы пренебрежительно мал.

4. Измерения V_r . Измерения лучевых скоростей проводились по центрам тяжестей линий, на уровне полуширины. В данной работе приводятся результаты измерений только для линии гелия, так как измерения для линий кремния отягощены влиянием второго компонента и нуждаются в коррекции.

Все измерения, свернутые с орбитальным периодом, приведены на рис. 2. На этом же рисунке показаны: кривая изменения $V_{\rm orb}$, вычисленная по элементам орбиты [3]; разности значений $\Delta V = V_r - V_{\rm orb}$ для линии НеІ. Из рисунка видно, что присутствуют отклонения ΔV_r , достигающие 10 км/с. Эту переменность невозможно объяснить земными причинами, так как точность наших измерений (оцененная по линиям воды – для линий SiII) составляет ≈ 0.6 км/с.

Следовательно, присутствуют вариации лучевой скорости звезды, не обусловленные ее орбитальным движением, с характерным временем изменения, существенно меньшим орбитального периода.

Мы провели поиск значения P_{rot} по нашим измерениям с помощью стандартной техники фурье-анализа [9,10]. В интервале частот, соответствующим периодам от 100^d до $0.^d$ 8, присутствуют три значимых пика: $81.^d$ 6, $2.^d$ 75, $1.^d$ 012.

Предположим, что истинным является лишь один, наиболее короткий. Тогда вычитание его из исходных данных должно привести к тому, что из спектра мощности будут унссены все значимые пики, т.с. произойдет "отбеливание" спектра [11].

Для проверки нашего предположения мы свернули наши измерения ΔV с $P_{\rm rot} = 1.4012344$ по формуле

 ϕ =HJD 2449342. d 3395+1. d 012344 × E

и аппроксимировали их синусоидальным колсбанием с тремя гармониками. Затем вычли полученную модель из исходных ΔV . Для разностей снова был рассчитан спектр мощности.

На рис. 3 показаны исходный спектр мощности, измерения лучевых скоростей ΔV , свернутые с периодом $P_{\rm ret}$ и спектр мощности остатков. Как видно из рисунка, периодическое колебание уносит из спектра мощности практически все пики. Таким образом, приходим к выводу о правильности предположения о присутствии единственного периода изменения ΔV , $P_{\text{rot}} = 1.^d$ 012344. Поведение ΔV , с фазой P_{rot} является типичным для модели звезды

с одиночным пятном аномалия гелия на поверхности.

5. Переменность спектра aAnd в течение ночи. В работах [12,5] на основании наблюдений в UV диапазоне на спутниках ТД1-AS и Copernicus были обнаружены периодические изменения интенсивностей линий и их лучсвых скоростей с периодом $P = 3^{*} 05^{m} = 0.4 12855$ и амплитудой изменения лучевых скоростей около 7 км/с. В работах [13,14] на основании измерения фотографических спектрограмм (полученных на 6-м телескопе, IIaO, 2.7 Å/mm), получены свидстельства переменности V. с периодами ~41 и ~52 мин и амплитудами ~10 км/с. Однако наблюдения носили эпизодический характер и не позволили получить целостную картину переменности и интерпретацию результатов.

Наши результаты являются систематическими, достаточно продолжительны в течение ночи (ΔT от 2^k до 7^k), получены с отношением сигнал/шум > 150 и с достаточно хорошим временным разрешением (~10 мин). Поэтому нам представлялось возможным изучить переменность спектра «And в течение ночи.

На рис. 4 представлены нормированные к континууму спектрограммы аAnd для двух ночей наблюдений в спектральном диапазоне, соответствующем линии HcI λ 6678 Å. Спектрограммы были усреднены по три соседние экспозиции. Отношение сигнал/шум при этом >300. На рисунках видны небольшие изменения внутри профилей линий НеІ λ 6678 Å и MnII λ 6682.4 Å. Измеренные значения лучсвых скоростей не показывают периодов, обнаруженных в цитированных выше работах и их амплитуда не превыашет ~2 км/с.

Более интересно поведение линии с лабораторной длиной волны ≈ 6668 Å (точное отождествление отсутствуст). Эта линия имсет полуширину профиля, соответствующую уширению вращения звезды с

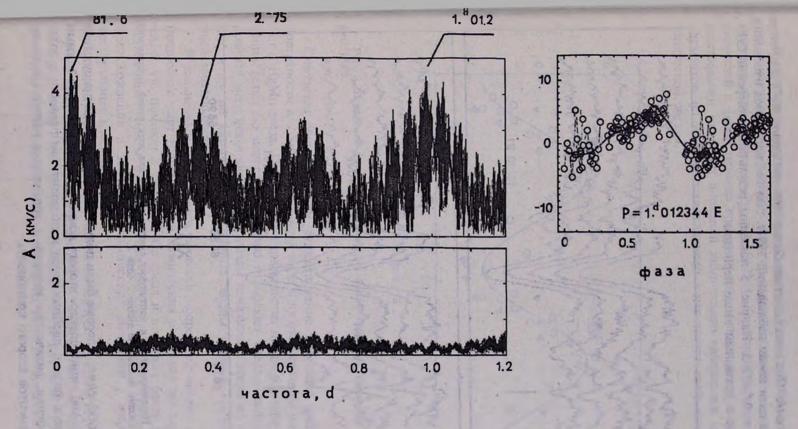


Рис. 3. Верхний левый график - спектр мощности $\Delta V = V - V$, по оси абсцисс - частота в $[d^{-1}]$, по оси ординат - амплитуда в $[\kappa M/c]$. Верхний правый график - измерения ΔV , свернутые с периодом 1. 012344. Сплошной линией показана аппроксимация измерений методом наименьших квадратов синусоидой с тремя гармониками. Нижний график - спектр мощности остатков после вычитания найденного периода P=1. 012344.

 $V_{\rm rot} = 54$ км/с. Она показывает необычно сильные сдвиги по λ в течение ночи. По пяти ночам наблюдений 1991г. был найден период изменений $\Delta V_{\rm rot} = 0.4$ 15395. На рис. 5 показаны результаты измерений $\Delta V_{\rm rot}$, свернутые с указанным выше периодом.

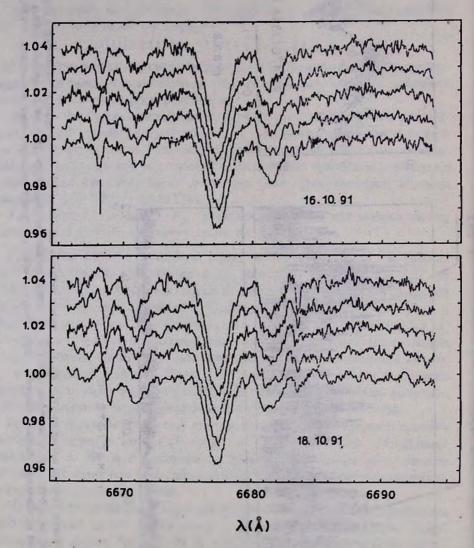


Рис. 4. Нормированные к континууму спектрограммы для двух ночей наблюдений. Стрелками указано положение линии λ 6668 Å.

6. Заключение. Впервые были получены свидетельства присутствия в спектре αAnd линий спектра второго компонента, что является важным для изучения физики двойных звезд и позволит нам провести в дальнейшем оценки физических условий и содержания некоторых химических элементов второго компонента.

В результате анализа измерений лучевых скоростей было показано, что опубликованное значение периода вращения является неточным и получено новое значение $P_{\rm rot}=1.^d$ 012344. Характер поведения лучевых скоростей с фазой периода вращения звезды приводит к выводу о существовании пятенных аномалий химического содержания некоторых элементов на поверхности главного компонента этой несомненно интересной звезды.

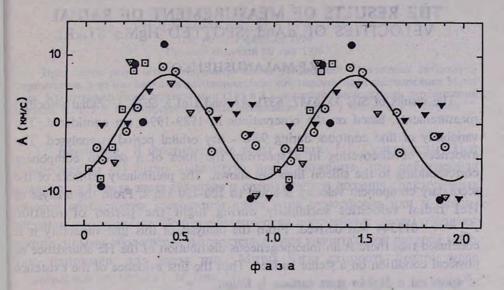


Рис. 5. Измерения лучевых скоростей для линии λ 6668 Å, свернутые с периодом P=0. 4 15395.

Считается общепринятым существование пятенных аномалий на поверхности для SrCrEu и He-weak звезд и их отсутствие на поверхности Am и HgMn звезд. Полученные свидетельства неоднородного распределения гелия по поверхности аAnd позволяют сделать вывод, что по крайней мере некоторые HgMn звезды показывают такие же аномалии, как и другие химически пекулярные звезды верхней части Главной последовательности.

В дальнейшем планируется провести подробный анализ спектра и построение карт распределения химических аномалий по поверхности αAnd, что поможет в изучении Ср звезд и послужит более глубокому пониманию природы этих интересных объектов, позволит уточнить теории происхождения и эволюции химических аномалий у звезд ранних спектральных классов.

Свидетельства переменности лучевых скоростей, более короткой, чем период вращения, являются несомненно интересными, но пока весьма противоречивы. Необходимы дальнейшие систематические наблюдения для того, чтобы построить интерпретацию этого интересного явления.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность С.Ростопчину за помощь в наблюдениях и обработке материала и Н.С.Полосухиной за обсуждение полученных результатов.

Крымская астрофизическая обсерватория, Украина

THE RESULTS OF MEASUREMENT OF RADIAL VELOCITIES OF αAnd. SPOTTED HgMn STAR?

V.P.MALANUSHENKO

The results of SiII $\lambda\lambda$ 6347, 6371 ÅÅ and HeI λ 6678 Å radial velocities measurements, based on the observations in 1989-1994, are considered. The variability of line contours during 96.6 - day orbital period is analysed. The evidences of discovering in a spectrum the lines of a second component corresponding to the silicon lines are shown. The preliminary estimate of the secondary component velocity is equal to 100-120 km/s. From the analyse of HeI radial velocities variability during night the period of rotation $P_{\rm rot} = 1.4\,$ 012344 was derived. From the analysis of this line variability it is conclused that there is an inhomogeneous distribution of the He abundance of physical condition on a stellar surface. Thus the first evidence of the existence of spots on a HgMn stars surface is found.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. W.W. Campbell, H.D. Curtis, Bulletin Lowell Obs., 3, 13, 1905.
- 2. G.G.L.Aikman, Publ.DAO, 14, 379, 1976.
- 3. Pan Xiaopli, M.Shac, M.M.Colavita, J.T.Armstrong, D.Mozukewich, M.Vivekanand, C.S.Denison, R.S.Simon, K.J.Johnson, Astrophys.J., 384, 624, 1992.
- 4. H.A.Abt, F.H.Chaffee, G.Suffok, Astrophys.J., 175, 779, 1972.
- 5. K.D.Rakosh, H.Jenkner, J.Wood, Astron. Astrophys. Suppl., 43, 209, 1981.
- Л.С.Любимков, Н.С.Полосухина, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 80, 30, 1988.
- 7. R.W.Tanner, Comm. David Dunlap Obs., 16, 177, 1948.
- 8. R.M.Petrie, Publ. DAO, 8, 319, 1950.
- 9. T.J. Deeming, Astrophys. Space Sci., 36, 137, 1975.
- 10. J.D.Scargl, Astrophys.J., 263, 835, 1982.
- 11. В.Ю. Теребиж, Анализ временных рядов в астрофизике, Наука, М., 1992.
- 12. K.D.Rakosh, T.M.Kamperman, Astron. Astrophys., 55, 53, 1977.
- 13. J.Zverko, J.Ziznovsky, M.Zboril, L.Hric, N.Polosukhina, V.Malanushenko, V.Bychkov, I.Iliev, Publ.Astron.Inst.Czechoslov.Acvad.Sci., No70, 71, 1987.
- 14. J. Zverko, L. Hric, J. Ziznovsky, Contr. Astron. Obs. Scalnato Pleso, 20, 143, 1990.