АСТРОФИЗИКА

TOM 24

АПРЕЛЬ, 1986

ВЫПУСК 2:

УДК: 524.337.7:520.82

ПЯТИЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ SS AUR

Ю. С. ЕФИМОВ, Г. Г. ТОВМАСЯН, Н. М. ШАХОВСКОЙ Поступнаа 10 сентября 1985 Принята к печати 2 декабря 1985

Приведены результаты одновременных UBVRI-наблюдений карликовой новой звезлы SS Aur. В две из трех ночей наблюдений отмечается понижение блеска звезды от обычного значения в спокойном состоянии $V = 14^m$ 7 до 15^m5. В состоянии пониженного блеска распределение энергии звезды хорошо описывается суммой двух планковских кривых с температурами 25 000 К и 3000 К, что, по-видимому, соответствует излучению белого и красного кирликов, входящих в систему. Спектр излучения, за счет которого происходит поярчание системы в среднем до $V = 14^m$ 7. близок к дисковому с $F_\lambda \sim \lambda^{-2.33}$. Кроме того, система претерпевает быстрые изменения блеска с характерным временем в 20—40 минут, возрастающие к коротковолновой части спектра и достигающие 0^m7 в полосе U. Интенсивность втих изменений увеличивается с общим увеличением блеска звезды. Показано, что в одну из ночей, когда звезда находилась в пониженном состоянии блеска, эти изменения носили периодический характер с P = 21 мин.

. 1. Введение. SS Aur — карликовая новая, типа U Gem. Это спектрально двойная звезда, незатменная, параметры ее были определены Крафтом [1] еще в 1962 г. В [2] перерасчет орбит двойных звезд из каталога [3] приводит к следующим результатам для SS Aur:

> $P_{op6} = 0^d 1805939$, $T_0 = JD 2400000 + 37940.2204$, $\omega = 217$, e = 0.21, K = 78 km c⁻¹, $\gamma = +38$ km c⁻¹.

Фотометрические наблюдения SS Aur были проведены Мамфордом в системе UBV [4]. Имеются также наблюдения втой системы в УФ с помощью спутника IUE [5]. Американская ассоциация астрономов-любителей AAVSO, проводившая патрулирование втой ввезды с 1906 г. по 1977 г., приводит следующие характеристики [6]. Вспышечный цикл у SS Aur длится 55^d5, изменения блеска происходят в пределах 10^m3-15^m7. Наблюдаются два типа вспышек — длинные, продолжительностью 11^d и короткие — в 4^d. При продолжительных вспышках амплитуда изменения блеска больше.

Нами впервые проведены одновременные пятицветные наблюдения SS Aur, результаты которых приводятся ниже.

2. Наблюдения. Наблюдения звезды SS Анг проводились в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР на 1.25-м телескопе с помощью пятиканального фотометра-поляриметра Хельсинской обсерватории [7]. Прибор позволяет проводить одновременное измерение источника з пяти цветах, близких к стандартной системе UBVRI Джонсона. Фон неба измеряется квазиодновременно во всех каналах путем быстрой модуляции потока от двух равных диафрагм.

Время интеграции составляло 10 с, временное разрешение — 20—23 с. Все наблюдения проводились с диафрагмой 10" при изображениях не хуже 3". Автоматическое тидирование с помощью офсетного фотогида обеспечивало ошибку слежения не более 0."5 - 1."0. При определении величин стандартной звезды и SS Aur в системе UBVRI использовались коэффициенты перехода, определенные по наблюдениям стандартных эвезд. Стандартная звезда N 5 из [8] измерялась через каждые ~ 30 мин. Ее блеск и цвета были определены с привязкой к фотометрическим стандартам HD 73617 и BD+16°2114 [9] и приводятся в табл. 1. В втой же таблице приводятся даты наблюдений и усредненные по ночам значения блеска и цветов звезды SS Aur.

Таблица 1

HABAIOZEMHA 35 AOK B CACILIAE OBYRT B 1965-04 II.									
Звезда	Начало	Конец	V	$\overline{B-V}$	$\overline{U-B}$	$\overline{V-R}$	$\overline{V-I}$		
3/4—XI—1983 (JD 2445641)									
SS Aur	23 ^h 04 ^m 31 ^s	01 ^h 43 ^m 13 ^s	15.5	0.31	-1.04	0.81	1.63		
30/31—XII—1983 (JD 2445699)									
SS Aur	20 32 28	22 31 .35	14.74	0.12	-0.79	0.47	1.01		
11	22 38 21	01 04 46	14.63	0.15	-0.66	0.47	0.99		
11-	01 10 19	01 35 16	14.59	0.16	-0.67	0.46	0.98		
3/4—IV—1984 (JD 2445794)									
SS Aur	18 03 55	20 12 53	15.45	0.34	-1.12	0.83	1.64		
Стандарт	1-1-2	200	10.98	0.09	0.09	0.12	0.19		

НАБЛЮДЕНИЯ SS AUR B СИСТЕМЕ UBVRI B 1983-84 гг.

228

При обработке наблюдений переменной звезды атмосферная экстинкция учитывалась линейной интерполяцией наблюдений стандарта между двумя соседними измерениями. Обработка наблюдений проводилась на вычислительной машине СМ-4 Бюраканской астрофизической обсерватории АН Арм.ССР по программам, составленным одним из авторов (Г.Г.Т.). Для обработки наблюдений методом Диминга (см. ниже) применялась программа, приведенная в [10], с незначительными изменениями для согласования с возможностями использованной ЭВМ.

3. Результаты наблюдений. На рис. 1—2 приведены кривые блеска звезды SS Aur, полученные 30. 12. 85 г., 03. 04. 84 г. в полосах U, B, V, R, I. Из рисунков хорошо видно. что во всех фильтрах у звезды наблюдались значительные изменения блеска, достигающие до 0^m7 на коротких длинах волн, с характерным временем 20—40 минут. В табл. 2 для каждой из но-



Рис. 1. Кривая блеска звезды SS Ант в полосах UBVRI в ночь 30. 12. 83 г.

чей приводятся коэффициенты корреляции между изменениями блеска в соседних участках спектра, выделяемых фильтрами. Двойная звезда SS Aur не затменная [4, 11], что подтверждается и нашими наблюдениями. Поэтому мы считаем, что изменения блеска, отмеченные и ранее [4], вызваны физическими процессами, происходящими в системе.

Таблица 2 КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ БЛЕСКА В СОСЕДНИХ ПОЛОСАХ							
Дата	U/B	BiV	V,R	R/I			
3/4-XI-83	0.85	0.49	0.61	0.30			
30/31-XII-83	0.97	0.85	0.86	0.63			
3/4—IV—84	0.80	0.52	0.62	0.36			

2-73

Весьма интересным фактом, полученным с помощью наших наблюдений, можно считать уменьшение блеска системы в среднем до V = 15.7 в течение двух из наблюденных ночей. Мы будем называть это пониженным состоянием блеска, так как, судя по предыдущим наблюдениям [12, 13], в спокойном состоянии эвезда имеет V = 14.7. С понижением блеска системы происходит также изменение цветов (см. табл. 1), однако значения U_B , B_V остаются в пределах, приводимых другими авторами [12, 13].

υ. 15.0 16.0 B 15.0 16.0 14.0 R 15.0 14.0 0.30 0.35 0.40;

Рис. 2. Кривая блеска звезды SS Aur в полосах UBVRI — 3. 04. 84 г.

На рис. 3 приводится распределение энергии излучения SS Aur. Светлыми символами показано распределение энергии в максимумах блеска звезды для каждой из ночей, черными — в минимумах. Ромбики относятся к 30. 12. 83 г., кружочки — к 03. 11. 83 г. и треугольники — к 03. 04. 84 г. На том же рисунке крестиками обозначены данные наблюдений Варгау и др. [5] в ультрафиолете с помощью спутника IUE. На основе УФ-данных авторы статьи [5] дают следующие параметры системы:

Температура <i>R</i> eff	горячего горячего	компонента компонента	$(0.4 \div 0.9) \cdot 10^5 \text{ K}$ $(0.003 \pm 0.002) R_{\odot}$
Температура	диска		$(1.0 \div 1.5) \cdot 10^4 \text{ K}$
R _{eff}	диска		$(0.05 \pm 0.03) R_{\odot}$.

Надо отметить, что данным ультрафиолетовых наблюдений соответствует $m_{\text{FES}} = 15.0$ [5].

Из рис. З видно, что в две из ночей наблюдений, когда звезда находилась в пониженном состоянии блеска, распределение энергии в ее спектре может быть представлено суммой двух планковских кривых с температурами 25 000 К и 3000 К соответственно. Что касается чернотельного излучения с температурой 3000 К, то оно обусловлено наличием холодного красного карлика в системе. Согласно зависимости орбитальный период спеқтральный класс холодного компонента [15, 16], карликовая новая с пе-

рнодом 4^h3 должна иметь холодный компонент спектрального класса в пределах МО—М5, то есть температуру ~ 3000 К [16]. К сожалению,



Рис. 3. Распределение энергии внезды SS Aur. Светлыми фигурами — в максимумах, черными — в минимумах каждой из наблюденных ночей.

Ромбики относятся к 30. 12. 83 г., кружочки—3. 11. 83 г. и треугольники—3. 04. 84 г. Толстая сплошиая линия представляет сумму двух планковских кривых с температурами 25 000 К и 3000 К, приведенных тонкими сплошными ливиями. Пунктирной линией показано излучение аккрецирующего диска.

из-за отсутствия данных (хотя бы одной точки) в более длинноволновой части спектра трудно определить температуру холодного компонента более точно. Отметим, что в «обычном» состоянии блеска ($V = 14^m$ 7) вклад холодного компонента почти не проявляется даже на длине волны $\lambda = 1.0 \ \mu m$. Здесь же, на рис. 3 приводится для сравнения распределение энергии вязкого устойчивого аккрецирующего диска, излучающего по закону $F_{\lambda} \sim \sim \lambda^{-2.33}$ [14]. Таким образом, выделив вклад холодного компонента и принимал, исходя из орбитального периода системы, абсолютную звездную величину $M_V = 10^m 5$ [16], можно оценить расстояние до звезды SS Aur \approx \approx 150 пк. Эта оценка хорошо согласуется с определенным тригонометрическим параллаксом звезды $\pi = 0.008$ при $\sigma = 0.004$ [17] и данными [18].

4. Горячий компонент. Согласно распространенной модели [19, 20], карликовые новые — тесные двойные системы, в которых происходит перетекание с красного, возможно, заполняющего свою полость Роша, карлика на белый, вокруг которого образуется устойчивый аккрецирующий диск с горячим пятном в точке соударения перетекающей материи с диском. Согласно этой модели, ультрафиолетовое и видимое излучения от карликовых новых и других новоподобных систем приписываются диску и горячему пятну, предполагая, что из-за малой светимости вклад белого карлика в общее излучение незначителен. Однако, в нашем случае, в ночь, когда звезда находилась в состоянии пониженного блеска, характер распределения энергии в минимумах (черные кружочки и треугольники на 3) позволяет предположить, что мы имеем дело. с доминирующим DHC. вкладом белого карлика. Действительно, излучение вязкого устойчивого аккрецирующего диска, удовлетворительно описываемого законом $F_{\lambda} \sim$ $\sim)^{-2.33}$ [14], явно недостаточно для описания коротковолновой части наших наблюдений. С другой стороны, светимость белого карлика-самого распространенного класса DA, с показателем цвета $U - V = -1^m 2 \div 1^m 4$. а следовательно, температурой ~ 25 000 К [21] равна $M_V = 10^{..5}$ (см. также рис. 10b [22]), что хорошо подходит для описания распределения энергии исследуемой нами звезды SS Aur в минимуме блеска.

5. Быстрые изменения блеска. Принимая, что в минимумах, при пониженном состоянии блеска системы, общее излучение обусловлено наличием только белого и красного карликов, рассмотрим дополнительное излучение, за счет которого происходят общее увеличение блеска системы до $V = 14^m7$ и быстрые изменения яркости с амплитудами до 0^m7 в U. На рис. 4 приводятся максимальные амплитуды колебаний блеска в пяти цветах во все ночи наблюдений (звездочки) и разности между минимумами излучения в ночи, когда звезда имела блеск $V = 14^m7$ и $V = 15^m5$ (крестики). Если в состоянии пониженного блеска диск отсутствует, то дополнительное излучение, за счет которого блеск звезды достигает 14^m7 , естественно, приписать диску. Распределение внергии дополнительного излучения близко к дисковому, а дефект в (U-B), видимо, обусловлен бальмеровским скачком.

Самые большие трудности возникают при попытке интерпретации быстрых изменений блеска, или так называемого фликеринга. Как видно из рис. 1, 2, они присутствуют в данных всех ночей. Распределение энергии излучения, за счет которого происходят колебания блеска, сходное во все ночи и подобно излучению от диска, но тем не менее отличается от распределения энергии излучения, которая обуславливает общее повышение



Рис. 4. Разности распределения энергий в максимумах и минимумах каждой из почей (эвездочки) и в минимумах между ночами, когда звезда была в нормальном и пониженном состояниях блеска.

блеска системы. Кроме того, хотя амплитуда колебаний блеска на всех длянах волн, Δm , примерно одинакова во все ночи, вклад переменной составляющей в ночь, когда звезда была ярче $V = 14^m$ 7, примерно в 3 раза больше соответствующего вклада в другие ночи, когда звезда была слабев $V = 15^m$ 5. Это означает, что амплитуда колебаний блеска пропорциональна интенсивности дополнительного излучения, приписываемого диску. Более того: в одну из ночей наблюдения, когда звезда находилась в пониженном состоянии блеска, колебания блеска, как показано в следующем разделе, носили периодический характер.

6. Поиск периодичности. Так как возможны изменения блеска, связанные с орбитальным периодом (хотя имеющихся наблюдений для этого мало), и более кратковременные периодические изменения, так называемые осцилляции [23], с периодами в десятки секунд, то нами была сделана попытка поиска периодических изменений блеска звезды в интервале периодов от 20 до 7200 с.

С этой целью был применен метод Диминга [24]. Периодических изменений, связанных с орбитальным периодом или осцилляциями, $\gtrsim 1^m$ выявлено не было. Однако в ночь 3/4. 04. 84 г. довольно хорошо вырисовываются колебания блеска с периодом в 21^m. На рис. 5 приводится спектр мощности и спектральное окно, полученное при обработке наблюдений 03. 04. 84 г. в полосе U. Как видно из рис. 5, на спектре мощности видны два мощных пика, соответствующих колебаниям с периодами 30^m и 21^m.



HACTOTA - ARHO"

Рис. 5. Периодограмма наблюдений SS Aur 3. 04. 84 г. в полосе *U*. Стрельой указая пик, соответствующий периоду 21 мин. Широкий пик слева от него и его аналогия в спектральном окне соответствуют моментам наблюдений стандартной звезды.

Первый пик с широким основанием соответствует наблюдениям стандарта приблизительно через каждые $25-30^m$, о чем свидетельствует также присутствие максимума в этом месте спектрального окна. Пик же с периодом в 21^m не имеет аналога в спектральном окне и вызван колебаниями блеска, которые видны даже на рис. 2. Такая же картина получается в периодограммах наблюдений этой ночи в остальных цветах. Но так как эмплитуда колебаний в длинноволновой части меньше, то и соответствую-

щий пик получается хуже, становясь несущественным в полосах R и I. Кроме того, для проверки достоверности этого пика была проведена свертка по фазе с периодом 21^m . На рис. 6 она приводится для фильтра U, где амплитуда колебаний максимальна. Как видим, подавляющее большинство точек укладывается в проведенную на глаз кривую с полушириной 0.15 звездных величин.



7. Обсуждение. Ясно, что столь короткопериодические колебания не могут быть вызваны орбитальным вращением. Они не мотут быть обусловлены также холодным компонентом, так как амплитуда колебаний, как уже отмечалось, больше в цветах U и B, где даже в минимуме блеска вклад холодного компонента несущественен. Кроме того, если короткопериодические колебания связать с вращением холодного компонента, то скорость вращения получается невероятно большой. Так что наиболее вероятными источниками периодических изменений блеска могут быть белый карлик или же диск.

В случае белого карлика, как источника периодических изменений блеска, переменность может быть обусловлена двумя причинами — пульсациями и вращением. Сразу же отметим, что радиальные пульсации не могут обеспечить переменность столь больших периодов и амплитуд [25, 26]. В работе [27] для объяснения периодических изменений блеска с периодами до 500 с привлекались нерадиальные пульсации, возбуждаемые конвекцией. Для этого необходимо, чтобы белый карлик был асимметричен, например, из-за воздействия приливных сил. Кажется, однако, что и эта модель не в состоянии объяснить обнаруженные нами периоды, вдвое превышающие приводимое в [27] значение. Для объяснения переменности одиночных белых карликов с периодами в несколько сот, а у G 44—32 даже в 1638 секунд [28], привлекалось, по аналогии с пульсарами, вращение [29]. К вращению белого карлика, как источнику периодических изменений блеска с периодом 1051 с, приводят и исследования тесной двойной системы АМ СVn [30, 31]. Недостатком этого предположения является то, что такая модель не может объяснить неправильных изменений блеска, имевших место в другие ночи.

Что касается диска, то наши наблюдения показывают, что его существование в пониженном состоянии блеска маловероятно. По-видимому, в пониженном состоянии блеска диск оптически тонок и появление на нем плотных неоднородностей может привести к периодическим изменениям блеска. Скорость вращения на поверхности, при характерных размерах диска ($0.5 \div 1.0$) · 10^{10} см, при кеплеровском вращении получается около ($0.5 \div 2.5$) · 10^3 км с⁻¹, что вполне удовлетворительно. Однако наклон орбиты у SS Аиг мал, а диск должен быть расположен в плоскости орбиты с незначительными отклонениями от нее, поэтому вряд ли возможно получить столь правильную форму кривой блеска при помощи неоднородностей на диске.

8. Заключение. Карликовая новая SS Aur наблюдалась в пяти цветах одновременно в течение трех ночей. В две из ночей система находилась в пониженном от приводимого в каталогах значения V = 14.77 состояния блеска. При втом распределение внергии описывается суммой двух планковских кривых с температурами 25 000 К и 3000 К, что соответствует излучениям белого и красного карликов, входящих в систему. В одну из ночей, когда система находилась в пониженном состоянии блеска, обнаружены периодические изменения блеска с периодом в 21 минуту, природа которых остается неясной.

В заключение авторы благодарят члена-корреспондента АН СССР А. А. Боярчука за внимание к работе и полезные советы.

Крымская астрофизическая обсерватория Бюраканская астрофизическая обсерватория

UBVRI PHOTOMETRY OF DWARF NOVAE SS AUR

YU. S. EFIMOV, G. H. TOVMASSIAN, N. M. SHAKHOVSKOY

The results of simultaneous UBVRI observations of dwarf novae SS Aur are presented. The decrease of brightness to $V = 15^{m}5$ in comparison with the usual quiescence magnitude $V = 14^{m}7$ is noted. In the low brightness stage, the distribution of energy is best fitted by the sum of two blackbody curves of 25000 K and 3000 K temperatures which correspond to the radiation of double system components consisting of white and red dwarfs. The additional radiation which is responsible for the brightnening up of the system to the usual value $V = 14.^{m}7$ is in good agreement with steady state accretion disk radiation. Besides, the system undergoes rapid light variations in time scale of 20—40 minutes, with amplitudes increasing to the shorter wavelengths and attaining $0.^{m}7$ in U band. The intensity of these variations increases with general brightnening of the system. It is shown that during one of the nights, when the star was in low brightness stage, the variations of light had a period of 21 min.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. R. P. Kraft, Astrophys. J., 135, 408, 1962.
- 2. B. L. Lucy, M. A. Sweeney, Astrophys. J., 76, 544, 1971.
- 3. A. H. Batten, Publ. Dominion Obs., 13, 119, 1967.
- 4. G. S. Mumford, Astrophys. J., 146, 411, 1966.
- 5. W. Wargau, H. Drechsel, J. Rahe, Astron. and Astrophys., 33, 149, 1983.
- A. T. Piening, R. M. Foster, J. A. Mattei, Bull. Amer. Astron. Soc., 11, 401,. 1979.
- 7. V. Pitrola, Astron. and Astrophys., 27, 383, 1973.
- 8. Атлас и каталог звездных величин и фотоэлектрических стандартов. Наукова Думка, Киев, 1981, стр. 39.
- 9. Th. Neckel, R. Chini, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 39, 411, 1980.
- 10. T. J. Kreidl, Astron. Image Processing Circ., No. 7, 11, 1980.
- 11. R. P. Kraft, W. Lugten, Astrophys. J., 142, 1041, 1965.
- 12. A. Bruch, Astron. and Astrophys., Suppl. Ser., 56, 441, 1984.
- 13. J. Echevarria, Rev. Mox. Astron. and Astrophys., 9, 99, 1984.
- 14. D. Lynden-Bell, Nature, 223, 690, 1969.
- 15. Г. Г. Товмасян, Астрофизика, 21, 298, 1984.
- 16. J. Patterson, Astrophys. J. Suppl. Ser., 54, 443, 1984.
- 17. S. Vasilevskis, Publ. Lick. Observ., 22, part V, 1975.
- 18. H. W. Duerbeck, Astrophys. and Sp. Sci., 99, 363, 1984.
- 19. B. Warner, R. E. Nather, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 152, 219, 1971.
- 20. J. Smak, Acta Astron., 21, 15, 1971.
- J. B. Oke, H. L. Shipman, White Dwarfs, IAU Symp. No. 42, Ed. W. L. Luyten,. D. Reidel Publ. Comp., 1971, p. 67.
- 22. V. Veidemann, White Dwarfs, IAU Symp. No. 42, Ed. W. L. Luyten, D. Reidel, Publ. Comp., 1971, p. 81.
- 23. E. L. Robinson, Ann. Rev. Astron. and Astrophys., 14, 119, 1976.
- 24. T. J. Deemeng, Astrophys. Space Sci., 42, 257, 1975.
- 25. V. P. Ostriker, Ann. Rev. Astron. and Astrophys., 9, 353, 1971.
- G. Vauclatr, White Dwarfs, IAU Symp. No. 42, Ed. W. L. Luyten, D. Reidel,. Publ. Comp., 1971, p. 145.
- 27. Y. Osaki, C. J. Hensen, Astrophys. J., 185, 277, 1973.
- 28. B. M. Lasker, J. E. Hesser, Astrophys. J., 158, L171, 1969.
- 29. B. M. Lasker, J. E. Hesser, Astrophys. J., Lett., 163, L89, 1971.
- 30. Н. Р. Войханская, Астрон. ж., 59, 925, 1982.
- J. E. Solheim, E. L. Robinson, R. E. Nather, S. O. Kepler, Astron. and Astrophys., 135, 1, 1984.