

УДК 524.338

А. Ф. Пугач

Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Киев
03680, Киев, МСП, ул. Академика Заболотного, 27

Необычная переменность ВО Сер — быстрой неправильной переменной с алголеподобными ослаблениями блеска

Кроме обычной переменности, свойственной быстрым неправильным переменным звезды с алголеподобными ослаблениями блеска, у ВО Сер обнаружено аномальное поведение цвета. В отличие от всех других звезд этого типа, у ВО Сер показатель цвета $B-V$ в максимуме блеска уменьшается с увеличением величины V . Отсутствие корреляции между показателем цвета $U-B$ и блеском, а также разный знак зависимости $B-V$ и $V-R$ от V , указывает на то, что причиной цветовой аномалии является излучение в пределах фотометрической полосы V . Высказывается предположение о возможной роли двойственности звезды в появлении цветовой аномалии.

НЕЗВИЧАЙНА ЗМІННІСТЬ ВО Сер — ШВИДКОЇ НЕПРАВИЛЬНОЇ ЗМІННОЇ З АЛГОЛЕПОДІБНИМИ ПОСЛАБЛЕННЯМИ БЛИСКУ, Пугач О. Ф. — Крім звичайної змінності, властивої швидким неправильним змінним зіркам з алголеподібними послабленнями блиску, у ВО Сер виявлено аномальну поведінку кольору. На відміну від усіх інших зірок цього типу, для ВО Сер показник кольору $B-V$ у максимумі блиску зменшується із збільшенням величини V . Відсутність кореляції між показником кольору $U-B$ і блиском, а також різний знак залежності $B-V$ і $V-R$ від V , вказують на те, що причиною колірної аномалії є випромінювання в межах фотометричної смуги V . Висловлюється припущення про можливу роль подвійності зірки у появі колірної аномалії.

UNUSUAL VARIABILITY OF THE STAR BO Cep, A RAPID IRREGULAR VARIABLE WITH ALGOL-LIKE MINIMA, by Pugach A. F. — For the star BO Cep, an anomalous color variability is revealed in addition to the usual variability typical for rapid irregular variables with Algol-like minima. Contrary to all the stars of this type, at maximum light the color index $B-V$ for the star BO Cep decreases as the magnitude V increases. The lack of the correlation between the color index $U-B$ and the magnitude V as well as different dependences of the color indices $B-V$ and $V-R$ on the magnitude V which are opposite in sign imply that the color abnormality is caused by an unidentified additional radiation manifesting itself in the photometric band B .

Some suggestions on a possible role of the star BO Cep duplicity in the color abnormality generation are made.

ВВЕДЕНИЕ

Во время рутинного анализа цветовых характеристик звезды ВО Cep у нее была обнаружена необычная переменность.

Эта звезда принадлежит к типу быстрых неправильных переменных с алгоподобными ослаблениями блеска, но отличается от большинства объектов этой группы более поздним спектральным классом (Sp F2III) и наличием не сильной, а умеренной эмиссионной линии H_{α} [1]. Другой, возможно принципиально важной, особенностью ВО Cep является наличие у нее транзитного периода изменения блеска, равного 10.658 сут, который проявляется только эпизодически [8]. Пока эти звезды не имеют официального видового названия и обозначаются по-разному: антивспыхивающие звезды [3], протоалгои и квазиалгои [6], ALIVARS [10], звезды типа UX Ori [9]. Тем не менее, преобладающее большинство исследователей считают, что причиной переменности служит появление в околозвездном окружении некой пылевой структуры, оформленной пространственно в виде экваториального диска, либо диссипирующего пылевого облака или даже кометообразного объекта.

При любой избранной модели переменности интерес представляют оптические свойства пыли, поскольку от них пролегает мост к пониманию физики явления. Для изучения оптических свойств часто используют зависимость экстинкции от длины волны излучения. В частности, для всех звезд этого типа установлено, что на начальных стадиях ослабления блеска показатели цвета $U - B$, $B - V$ и $V - R$ увеличиваются, при этом значение параметра R , характеризующего удельную величину вызываемого покраснения $R = \Delta V / \Delta(B - V)$, близко к значению параметра селективного поглощения для межзвездной среды ($R_{is} \approx 3.2...3.5$).

У ВО Cep параметр R вблизи максимума блеска принимает отрицательное значение, т. е. в отличие от всех других звезд этого типа излучение ВО Cep «голубеет» по мере ослабления блеска.

НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Фотоэлектрические $UBVR$ -наблюдения ВО Cep проводились автором в 1974—1984 гг. на пике Терскол (Северный Кавказ) и опубликованы в работе [4]. Основные методические и процедурные вопросы, касающиеся аппаратуры, режима наблюдений, параметров фотометрической системы, выполнения многочисленных редуций и т. п., опубликованы в работе [5]. Погрешность единичного определения блеска звезды 11^m , полученная из анализа многолетних наблюдений звезд сравнения, составляет 0.014^m — 0.019^m для полос V , B , R и достигает 0.025^m в полосе U [4].

При построении диаграммы $V - (B - V)$ для наблюдений ВО Cep естественно было ожидать картину, характерную для других антивспыхивающих звезд. Например, из рис. 1, построенного по данным [4] для типичного представителя группы — звезды ВН Cep, следует, что при ослаблении блеска излучение «краснеет», т. е. показатель $B - V$ должен увеличиваться.

Вопреки ожиданиям, наблюдения ВО Cep показали намного более сложную картину (рис. 2). С одной стороны, прослеживается нормальная для этих звезд тенденция, при которой увеличение или уменьшение величин V и $B - V$ протекает синхронно (сплошная линия). С другой

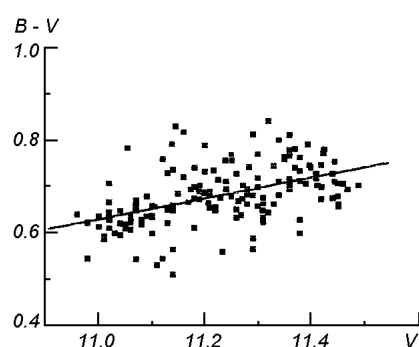


Рис. 1. Зависимость $V - (B - V)$ для звезды ВН Сер ($N = 154$, $b_1 = 0.224 \pm 0.033$, $r = 0.474 \pm 0.057$)

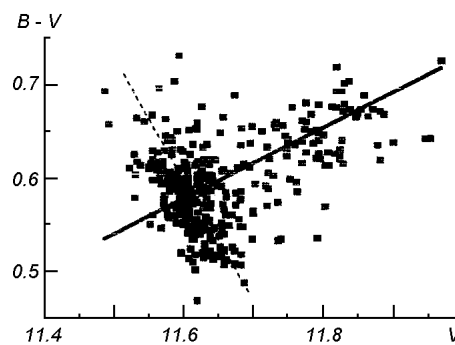


Рис. 2. Зависимость $V - (B - V)$ для звезды ВО Сер ($N = 362$). Основной процесс переменности аппроксимирован жирной прямой, а аномальный — штриховой линией

стороны, видно, что максимальные значения блеска образуют еще одну, вторую зависимость, при которой с увеличением звездной величины V показатели $B - V$ уменьшаются (штриховая линия на рис. 2). Реальность этой зависимости подтверждается следующим анализом.

Рассмотрим быстрые изменения блеска в каждую отдельную ночь в тех случаях, когда число измерений превышало $N = 5$. На рис. 3, 4, 6, 7 показаны зависимости $V - (B - V)$ с указанием даты наблюдений ($JD...2191 \equiv JD\ 2440000 + 2191$ и т. д.), количества N измерений в ночь и углового коэффициента b_1 линейной МНК-аппроксимации

$$V = a + b_1(B - V).$$

Во всех проиллюстрированных случаях изменения V и $(B - V)$ в максимуме блеска происходят в противофазе, т. е. увеличение величины V сопровождается уменьшением величины $B - V$, и коэффициент b_1 имеет отрицательный знак.

В ночь $JD...2688$ в течение нескольких часов было получено более 60 индивидуальных измерений. График зависимости $V - (B - V)$ для всех измерений этой ночи (рис. 4) как будто бы не подтверждает обнаруженную аномалию, поскольку знак коэффициента b_1 положителен. Однако более подробный анализ показывает, что в эту ночь блеск звезды испытывал быстрые колебания с амплитудой $\Delta V = 0.25^m$ (рис. 5). Поэтому в данном случае имеет место наложение нескольких колебательных циклов, при котором зависимость, характерная для какого-либо одного цикла, замыкалась влиянием других. На графиках зависимости «цвет — блеск», построенных для отдельных фрагментов кривой блеска (a , b , v), четко проявляется аномальная зависимость, являющаяся предметом обсуждения здесь (рис. 6).

Такой удивительный характер связи блеска V и показателя цвета $B - V$ звезды ВО Сер обнаружен во все ночи, когда имелось несколько наблюдений ($N \geq 6$), достаточно разнесенных во времени. Исключение составляет только ночь $JD...2313$, когда коэффициент b_1 имел положительное значение. По-видимому, в эту ночь доминировал основной процесс переменности, для которого, как указывалось, $b_1 > 0$, а аномальная переменность в это время была незначимой. В таблице приведены все измеренные в разные даты значения коэффициента b_1 с указанием величины

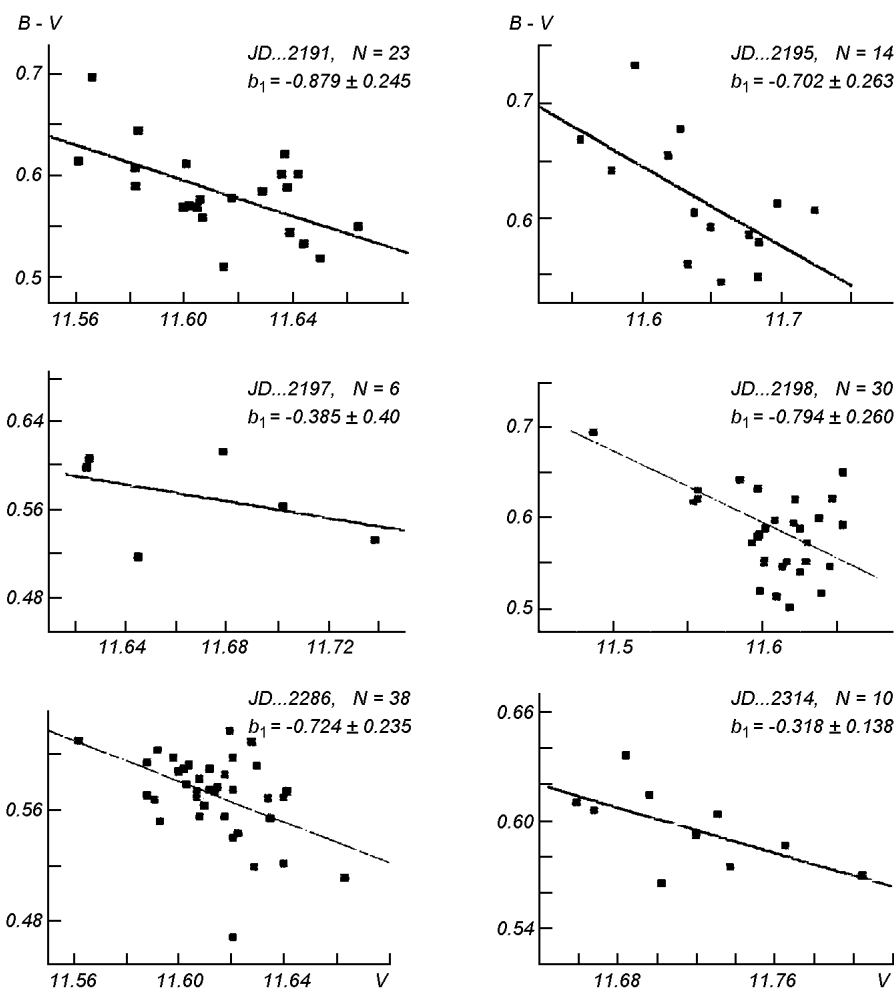


Рис. 3. Зависимость $V - (B - V)$ для ВО Сеп в разные ночи

Значения коэффициентов b_1 и коэффициентов корреляции r для зависимостей показателей цвета $B - V$ и $U - B$ от блеска V

JD, 244 0000+	B - V		U - B		N
	b_1	r_b	u_1	r_u	
2191	-0.879 ± 0.245	-0.617 ± 0.036	—	—	23
2195	-0.702 ± 0.263	-0.610 ± 0.045	—	—	14
2197	-0.385 ± 0.400	-0.430 ± 0.041	-0.225 ± 0.693	-0.160 ± 0.070	6
2198	-0.584 ± 0.220	-0.448 ± 0.041	—	—	29
2286	-0.724 ± 0.235	-0.456 ± 0.027	$+0.373 \pm 0.381$	0.161 ± 0.043	38
2313	0.265 ± 0.179	0.464 ± 0.011	-0.879 ± 0.560	0.492 ± 0.034	10
2314	-0.317 ± 0.138	-0.631 ± 0.018	-0.043 ± 0.301	-0.050 ± 0.040	10
2633	-0.921 ± 0.165	-0.849 ± 0.014	$+0.098 \pm 0.223$	0.120 ± 0.023	14
2688(a)	-0.341 ± 0.133	-0.565 ± 0.019	-0.199 ± 0.150	-0.330 ± 0.020	16
2688(b)	-0.800 ± 0.150	-0.818 ± 0.011	$+0.305 \pm 0.241$	0.321 ± 0.017	16
2688(c)	-0.726 ± 0.163	-0.734 ± 0.017	$+0.243 \pm 0.295$	0.201 ± 0.031	18
4113	-1.073 ± 0.407	-0.762 ± 0.024	—	—	7
4114	-1.320 ± 0.260	-0.900 ± 0.017	—	—	8
Среднее	-0.630 ± 0.105	0.565	-0.041 ± 0.081	0.094	

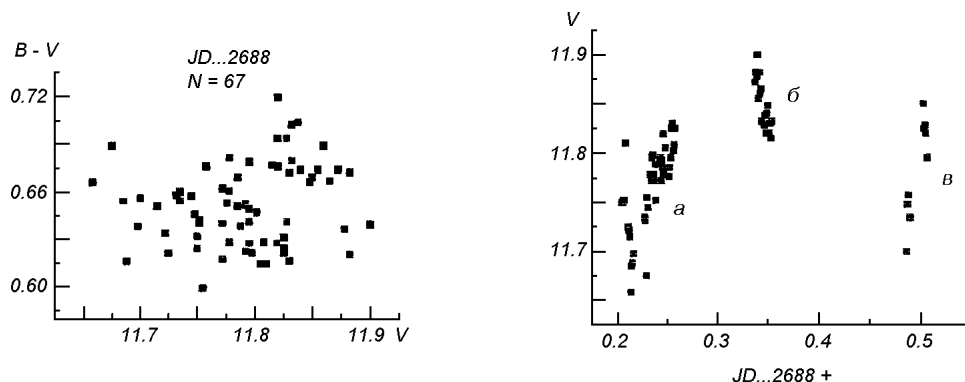


Рис. 4. Суммарная зависимость $V - (B - V)$ для ВО Сер за ночь JD...2688

Рис. 5. Вариации блеска ВО Сер в ночь JD...2688; а, б, в — отдельные фрагменты кривой блеска

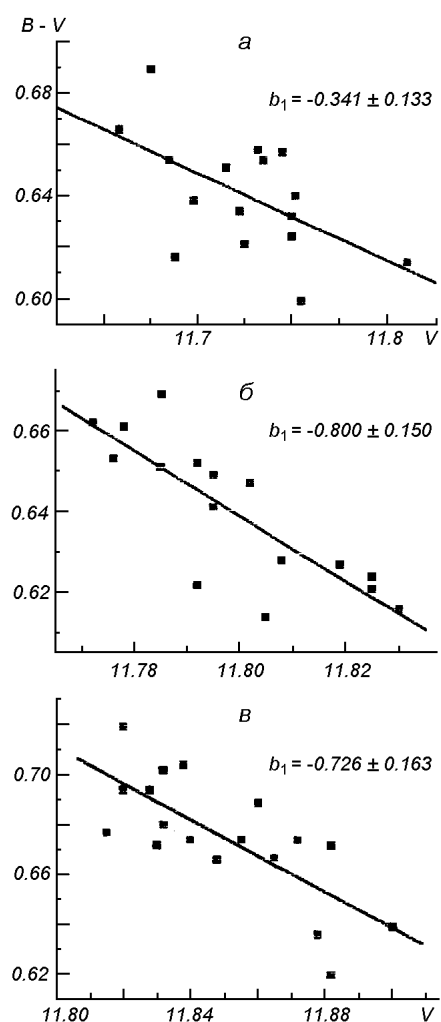


Рис. 6. Зависимости $V - (B - V)$ для отдельных фрагментов кривой блеска, показанных на рис. 5

стандартного отклонения (графа 2) и приводится среднее по всем ночам значение $b_1 = (0.630 \pm 0.105)$. В третьей графе указаны коэффициенты корреляции r_b между величинами V и $B - V$. В четвертой и пятой графах приведены аналогичные коэффициенты для показателя цвета $U - B$.

Несомненный интерес представляет также вопрос о том, есть ли зависимость между блеском V и показателем цвета $U - B$. Согласно данным таблицы такой зависимости нет. В некоторые ночи угловой коэффициент u_1 , характеризующий связь между V и $U - B$, принимает положительные значения, в некоторые — отрицательные, а в некоторых случаях связь обнаружить вообще не удастся. Среднее по всем имеющимся наблюдениям значение углового коэффициента u_1 мало отличается от нуля ($\bar{u} = -0.04$), а среднее значение коэффициента корреляции r_u не превышает 0.1. Все это указывает на то, что достоверная связь между V и $U - B$ действительно не обнаруживается.

Все сказанное не имеет, насколько известно автору, аналогов в фотометрическом поведении других нестационарных звезд, и по этой причине не может пока найти объяснение «по прецеденту».

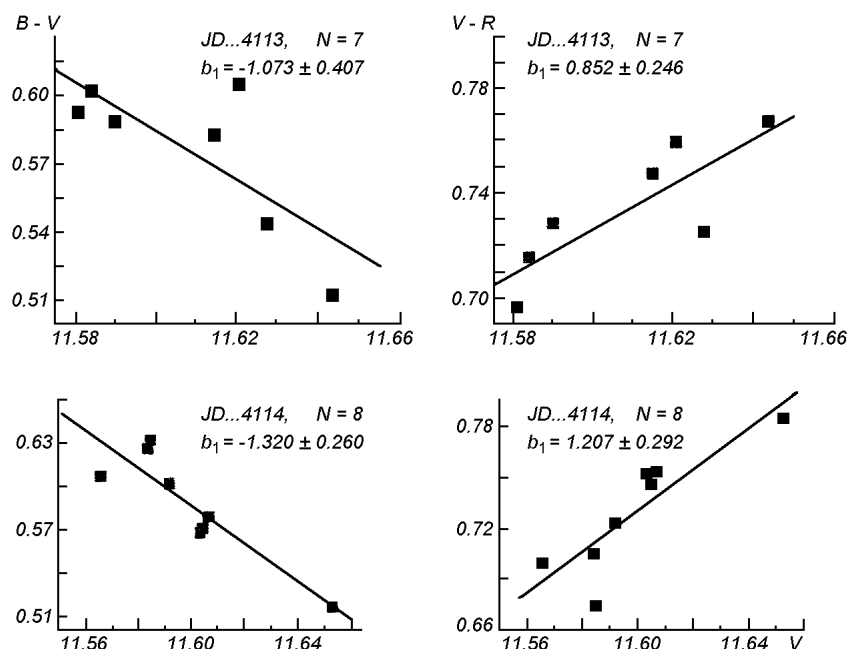


Рис. 7. Противоположный характер связи между $B - V$ и $V - R$ в ночи JD...4113 и 4114

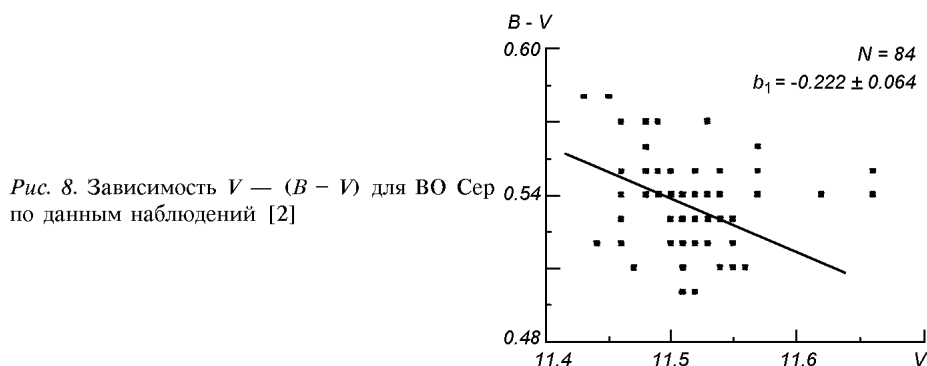


Рис. 8. Зависимость $V - (B - V)$ для ВО Сер по данным наблюдений [2]

Однако некоторый свет на возможный механизм аномального поведения излучения ВО Сер проливает то обстоятельство, что в многолетнем ряду наблюдений имеются две ночи, когда небольшие серии наблюдений проводились с применением красного фильтра R . Анализ связи между V и $V - R$ приводит к неожиданному выводу. Связь между блеском и показателем $V - R$ не только есть, но она противоположна по знаку поведению показателя $B - V$. На рис. 7 сопоставлены между собой зависимости показателей $B - V$ и $V - R$ от величины V , полученные по наблюдениям двух ночей.

Таким образом, если корреляция блеска V с показателем $B - V$ отрицательна, с показателем $U - B$ — нулевая, а с показателем $V - R$ — положительна, то совершенно однозначно причина обсуждаемой цветовой аномалии ВО Сер лежит в излучении, регистрируемом в полосе V . Действительно, если величина V увеличится, а U и R останутся почти без изменений, то показатель $B - V$ уменьшится, показатель $V - R$ увеличится, а показатель $U - B$ останется без изменений, что и наблюдается.

Выявленный характер цветového поведения ВО Сер настолько необы-

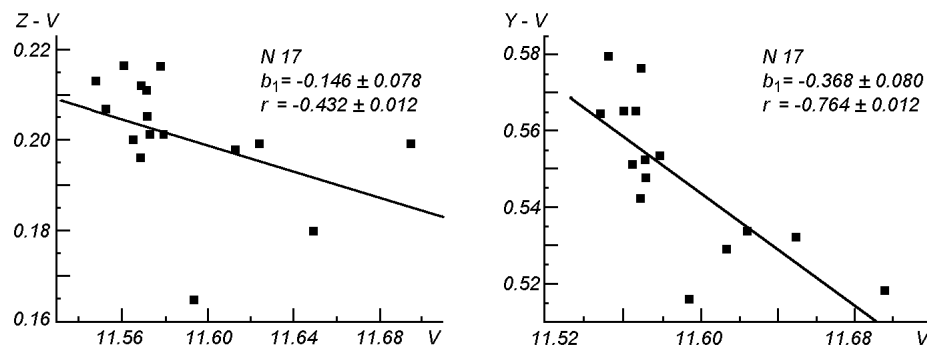


Рис. 9. Диаграммы цвет — блеск ВО Сер в полосах Y , Z , V Вильнюсской системы по данным наблюдений [7]

чен, что для его подтверждения необходимы подкрепляющие аргументы. Таковые можно обнаружить в наблюдениях других авторов, выполненных с другой аппаратурой и в других условиях. Так, наблюдения Кардополова и Шутемовой [2], охватившие 76 ночей приблизительно в те же эпохи, показывают качественно ту же картину (рис. 8): при ослаблении блеска в нормальном состоянии показатель $B - V$ уменьшается ($b_1 = -0.222 \pm 0.064$). Правда, указанная связь проявляется не так четко, что, по-видимому, связано с отсутствием длинных серий наблюдений в течение ночи. Тем не менее, искомый результат проявился даже на этих, не совсем подходящих для наших целей, наблюдениях.

Спустя полтора десятилетия после указанной работы фотоэлектрические наблюдения ВО Сер были продолжены Эймонтасом и Суджюсом в Вильнюсской фотометрической системе $UPXYZVS$ [7]. Несмотря на ее отличия от стандартной системы $UBVR$, наблюдения [7] вполне могут быть использованы для качественной проверки наших выводов. Изофотные длины волн полос B и V составляют соответственно $\lambda\lambda = 450$ и 555 нм. Для целей сравнения лучше всего подходят полосы Y , Z и V ($\lambda\lambda = 466$, 516 и 544 нм). На рис. 9 показано поведение показателей $Z - V$ и $Y - V$ в зависимости от блеска в полосе V . Качественно эти зависимости имеют тот же вид, что и зависимости, полученные по нашим наблюдениям. Для зависимости с показателем $Y - V$ коэффициент корреляции ($r = -0.784$) оказывается выше, чем для зависимости с показателем $Z - V$ ($r = -0.432$). Это связано с тем, что показатель $Y - V$ ближе к стандартному показателю $B - V$, чем показатель $Z - V$, если судить по изофотным длинам волн этих полос.

Таким образом, обнаруженное у ВО Сер аномальное цветовое поведение, выражающееся в том, что уменьшение яркости звезды вблизи максимума блеска сопровождается «поголубением» излучения, нашло экспериментальное подтверждение в наблюдениях других исследователей. Следовательно, специфический вид зависимости $V - (B - V)$, при котором ее угловой коэффициент b_1 принимает отрицательные значения, можно считать установленным фактом.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Необычность цветовой переменности ВО Сер можно рассматривать не только как результат естественных физических процессов в звезде, но и как артефакт. Дело в том, что в $9''$ от ВО Сер находится звездообразный объект

приблизительно 14^m . Поскольку большинство наших фотоэлектрических наблюдений выполнено с диафрагмой радиусом $7''$, то не исключено, что при разных положениях оси телескопа относительно центра звезды изображение этого слабого соседнего объекта могло иногда попадать на катод ФЭУ. Покажем несостоятельность такого объяснения полученной переменности.

1. Если случайное попадание изображения соседнего объекта в диафрагму фотометра могло иметь место при наблюдениях на 0.6-м телескопах с эквивалентным фокусным расстоянием около 7.5 м (наши наблюдения и наблюдения [2]), то при наблюдениях на телескопах с апертурой 1.65 м и 1.0 м с соответственно большими фокусными расстояниями (наблюдения [7]) такое попадание скорее всего было невозможно.

2. Если соседняя звезда не является каким-либо экзотическим объектом с совершенно фантастическим распределением энергии в спектре или с сильными эмиссионными линиями в диапазоне длин волн $\lambda\lambda$ 500—600 нм, то ее вклад в суммарное излучение системы «ВО Сер + соседний объект» не может привести к изменению потока только в узком спектральном участке, определяемом пропусканием фотометрической полосы V . Какую бы температуру ни имел этот объект в пределах диапазона спектральных классов от О до М, его вклад неизбежно приведет к изменению соседних с $B - V$ показателей цвета, но характер этих изменений будет отличаться от наблюдаемого нами.

По нашей просьбе И. И. Проник и В. И. Проник пронаблюдали на зеркальном телескопе Шайна (Крымская астрофизическая обсерватория) спектр соседнего слабого объекта. Им оказалась звезда с H_{α} -эмиссией, спектр которой похож на спектр ВО Сер. Таким образом, гипотеза аномального распределения энергии в спектре соседнего объекта отпала. Наличие эмиссии H_{α} , и даже ее возможная сильная переменность не могут быть причиной обнаруженного эффекта, так как излучение H_{α} попадает не в полосу V , а в соседнюю полосу R . Если бы в спектре слабой звезды очень сильно изменялась эквивалентная ширина эмиссии H_{α} , то зависимость $V - (V - R)$ была бы противоположна той, которая наблюдалась у ВО Сер.

3. Согласно оценкам И. И. Проник и В. И. Проник, блеск соседней звезды близок к 16^m . Кажется, это замечание снимает все возможные подозрения, что мы имеем дело с артефактом, связанным с близостью соседней звезды. Понятно, что даже при самых маргинальных обстоятельствах вклад излучения звезды 16^m не может изменить блеск ВО Сер на 0.25^m (рис. 5). Следовательно, в данном случае причина наблюдаемого эффекта кроется в особенностях самой ВО Сер.

Причина аномального цветового поведения ВО Сер не ясна, но можно предположить, что обнаруженный эффект может быть следствием особых условий, в которых проявляют себя хорошо известные механизмы переменности. В связи с этим немаловажное значение приобретает обнаружение у ВО Сер квазипериодических ослаблений блеска [8]. Нестабильный во времени характер появления регистрируемых ослаблений указывает на то, что они, скорее всего, вызываются затмением звезды нестабильной пылевой структурой, обусловленной двойственностью системы. Ею, например, может быть газово-пылевая перемичка, соединяющая компоненты двойной системы. Если ВО Сер действительно двойная звезда, и притом «тесная», (на это указывает относительно небольшой квазипериод обращения), то транзитная газово-пылевая перемичка между компонентами может вызывать наблюдаемые ослабления блеска. Интервалы между наблюдаемыми ослаблениями всегда будут кратны периоду обращения 10.658 сут, но наблюдаться ослабления блеска будут только тогда, когда активной станет перемичка.

Такая модель переменности ВО Сер может оказаться весьма полезной при попытке найти причины ее цветовой аномалии. Двойственность, усиленная наличием газово-пылевой перемычки, да еще необычная геометрия явления — все это в совокупности представляет собой широкое поле для выдвижения самых разнообразных гипотез. Хотя при всем при этом понять, почему именно в пределах фотометрической полосы V возникает излучение, приводящее к цветовой аномалии, также будет не просто.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В излучении быстрой неправильной переменной звезды ВО Сер обнаружена особая, ранее не наблюдавшаяся связь между блеском и цветом. В отличие от других звезд с алголеподобными ослаблениями блеска у этой звезды вблизи максимума яркости показатель блеска $B - V$ уменьшается по мере того, как звезда становится слабее. Таким образом, переменность ВО Сер включает два процесса: обычные алголеподобные ослабления и аномальную переменность вблизи максимума блеска с амплитудой около 0.15^m и характерным временем приблизительно 40—60 мин. Отсутствие статистически значимой связи между показателем цвета $U - B$ и вместе с тем наличие антикорреляции между показателями $B - V$ и $V - R$ однозначно указывает на то, что цветовая аномалия вызывается излучением, проявляющем себя в основном в полосе V .

Скорее всего, речь пока не идет о новом типе переменности. Вероятное объяснение цветовой аномалии следует прежде всего искать в возможной двойственности системы ВО Сер и в особой геометрической картине затмения, вызываемого наличием гипотетического газово-пылевого образования вблизи обеих компонентов двойной системы.

Автор выражает глубокую благодарность И. И. Проник и В. И. Пронику за помощь в изучении спектра соседней с ВО Сер звезды.

1. Зайцева Г. В., Есинов В. Ф. H_{α} -эмиссия в спектрах нескольких быстрых неправильных переменных звезд // Астрон. циркуляр.—1972.—№ 712.—С. 78.
2. Кардополов В. И., Шутемова Н. А. Фотоэлектрические наблюдения ВО Цефея // Перемен. звезды.—1980.—21, № 3.—С. 305—309.
3. Пугач А. Ф. Антивспыхивающие звезды. — Киев, 1981.—58 с.—(Препринт / АН УССР; Ин-т теор. физики; ИТФ-81-128р).
4. Пугач А. Ф. Результаты многоцветных наблюдений некоторых антивспыхивающих звезд // Перемен. звезды.—1996.—23, № 6.—С. 391—420.
5. Пугач А. Ф., Ковальчук Г. У. Карты звезд сравнения и вторичные UBVR стандарты для наблюдений антивспыхивающих звезд // Перемен. звезды.—1983.—22, № 1.—С. 9—23.
6. Шевченко В. С., Витриченко Э. А., Гранкин К. Н. и др. Протоалголи и квазиалголи // Письма в Астрон. журн.—1993.—19, № 4.—С. 334—347.
7. Eimontas A., Sudzius J. Photoelectric photometry of Herbig Ae/Be and related stars // Baltic Astronomy.—1998.—7, N 3.—P. 407—426.
8. Grankin K. N., Ibragimov M. A., Melnikov S. Yu., et al. Quasi-algol BO Cep // Inform. Bull. Var. Stars.—1991.—N 3627.—P. 1—4.
9. Herbst W., Holtzman J. A., Klasky R. S. Photometric variation of Orion population stars // Astron. J.—1983.—88, N 11.—P. 1648—1680.
10. Kovalchuk G. U., Pugach A. F. Determination of lgg of several variable Herbig Ae/Be stars // Astron. and Astrophys.—1997—325, N 3.—P. 1077—1082.

Поступила в редакцию 30.12.02