

УДК: 524.338—355

О ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ НЕПРАВИЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Г. В. ЗАЙЦЕВА

Поступила 27 мая 1986

Принята к печати 20 августа 1986

На основе фотоэлектрических UBV —наблюдений неправильных переменимых звезд показано, что зависимость между блеском V и показателями цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ немонотонна. При ослаблении блеска от максимального до некоторого среднего показателя цвета в среднем увеличиваются, а при дальнейшем ослаблении блеска — уменьшаются (звезда «голубеет» в минимуме блеска). Такая двузначная зависимость присуща не только неправильным переменным ранним и поздним спектральным классам, но и звездам типа Т Тельца.

1. *Введение.* Звезды типа Т Тельца и родственные им с давних пор привлекают пристальное внимание исследователей как молодые объекты, находящиеся на стадии гравитационного сжатия. И, тем не менее, однозначного ответа о причинах переменности блеска и эмиссионного спектра этих звезд не найдено. Трудности интерпретации наблюдаемых явлений связаны, вероятно, именно с молодостью этих звезд, которые обладают мощной конвективной зоной, переменным магнитным полем, окружены газовыми и пылевыми оболочками. Многие из этих звезд связаны с компактными туманностями и погружены в облака межзвездной пыли и газа. Взаимодействие этих причин порождает сложную картину наблюдаемых явлений. Причем, в изменениях блеска одной и той же звезды в разные интервалы времени могут проявляться различные закономерности. Следовательно, выявление общих закономерностей, присущих неправильным переменным звездам, можно провести только на основе длительных и однородных наблюдений, охватывающих, по-возможности, полную амплитуду изменений блеска.

В данной работе рассмотрен характер связи показателей цвета и блеска для неправильных переменных звезд на основе фотоэлектрической UBV -фотометрии. Материалом для этой работы послужили в основном наблюдения, выполненные автором на Крымской наблюдательной станции

ГАИШ с помощью 60-см рефлектора и автоматического электрофотометра, начиная с 1965 г. К настоящему времени для ряда звезд удалось выявить общие закономерности изменения показателей цвета с блеском, а именно установить неоднозначный характер этих зависимостей.

Впервые двузначный характер зависимостей $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$ был обнаружен для неправильной переменной спектрального типа A2ea UX Ориона [1, 2]. Ослабление блеска этой звезды от максимального до некоторого среднего $V \approx 11^m$ сопровождается покраснением звезды, причем наклон зависимостей таков, что может быть вызван либо изменением температуры звезды от 10 000 до 8900 К, либо переменным поглощением околозвездной пылевой оболочки. При дальнейшем ослаблении блеска до минимального происходит уменьшение показателей цвета. Такое изменение наблюдаемого излучения было объяснено в предположении, что в минимуме блеска увеличивается относительный вклад водородной эмиссии в непрерывном спектре.

Позднее для этой звезды были выполнены фотометрические наблюдения, позволившие определить изменения бальмеровского скачка при ослаблении блеска до $\sim 11^m$ [3]. Было установлено, что величина бальмеровского скачка практически не меняется при изменении блеска на $\sim 1^m$, то есть температура поверхности звезды остается постоянной. Этот результат позволил из указанной альтернативы выбрать в качестве источника звездной переменности околозвездную экстинкцию.

Затем подобный характер зависимости блеск—цвет был обнаружен у ряда других неправильных переменных. Объяснение ему различные авторы предлагали разное. Для RZ Рыб, например, Пугачев [4] было выдвинуто предположение, что в период минимума блеска над фотосферой звезды появляется некоторый гипотетический абсорбент, меняющий свою оптическую толщину. Точно такое же объяснение привлекает Ковальчук для объяснения свойств переменности V 346 Ориона [5] и V 351 Ориона [6].

Зайцева и Чугайнов [7] показали, что ослабления блеска неправильной переменной WW Лисички в полосах UBV могут быть объяснены рассеянием и поглощением света в неоднородной пылевой оболочке, состоящей из силикатных частиц, средний радиус которых 0.16 мкм.

Сейчас нет единой точки зрения на природу переменности звезд типа Т Тельца, но к интерпретации наблюдаемых свойств все чаще привлекается переменное магнитное поле, и, как следствие этого, наличие холодных и горячих пятен на поверхности звезды [8—10].

В табл. 1 собраны сведения о звездах, для которых обнаружен двузначный характер зависимости блеск—показатели цвета. Последовательно в столбцах таблицы представлены следующие данные: 1 — название звезды; 2, 3, 4—тип переменности, спектральный тип и полная амплитуда из-

менения блеска согласно [11] или [1] — для звезд, вошедших в первые два тома четвертого издания; 5 — амплитуда изменений блеска звезды, охваченная трехцветными наблюдениями, которые использовались при построении диаграмм $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$.

Таблица 1

Звезда	Тип переменности	Спектр	Амплитуда ОКПЗ	Амплитуда наблюдаемая
VX Cas	Isa	A0e σ	$10^m.5-13^m.3V$	$10^m.9-12^m.6V$
UX Ori	Isa (YY)	A2e σ	8.7—12.8 B	10.0—12.7 B
BF Ori	Ina	A0I—FP IIe σ	9.7—13.5 V	10.1—12.6 V
CO Ori	Insb	G5 Vpe	10.3—13.8 B	10.8—12.5 B
V 346 Ori	Isa	A5 III:	10.0—11.9 B	10.5—12.8 B
V 351 Ori	Insa	A7 III	8.3—11.6 B	9.4—11.5 B
RZ Psc	Is	K0 IV	11.3—13.5 B	12.2—14.7 B
T Tau	InT	dG5e (T)	9.6—13.5 V	9.7—10.6 V
RR Tau	Inas	A2e II—III	10.2—14.2 V	10.7—14.2 V
RY Tau	InT	dF8e— dG2e (T)	9.3—12.3 B	10.5—12.7 B
WW Vul	Isa	A3e	10.9—12.6 B	10.6—13.2 B

2. *Отдельные звезды.* VX Cas — изолированная быстрая неправильная переменная, расположена в богатой звездами области Млечного пути. Показывает резкие глубокие ослабления блеска алголеподобного характера с амплитудой $\Delta V \sim 1^m.5$ и продолжительностью несколько дней [12, 13]. На рис. 1 представлены диаграммы блеск—показатели цвета для VX Cas. Точками обозначены наблюдения автора, крестиками — наблюдения Пугача [14]. Наблюдения Кардополова и Филиппева [15, 16] не представлены на рисунке, поскольку они выполнены в основном в максимуме блеска и, кроме того, показывают систематическое отличие от наших — на $0^m.05$ в показателе цвета ($B-V$).

При уменьшении блеска VX Cas от максимального $V \approx 11^m$ до некоторого среднего $V \approx 11^m.8$ изменение показателя цвета таково, что $\Delta V \approx 3.2 \Delta (B-V)$, то есть закон покраснения звезды близок к межзвездному [14]. При дальнейшем ослаблении блеска характер зависимости блеск—показатель цвета меняется, и в минимуме блеска показатель цвета ($U-B$) такой же, как в среднем блеске. Этот факт можно рассматривать как свидетельство относительного возрастания интенсивности излучения в ультрафиолетовой области спектра при сильных ослаблениях блеска. На наличие двух механизмов переменности VX Cas указывал Пугач [14].

Наблюдаемые зависимости $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$ для VX Cas интерпретируются Пугачем [17], как и для RZ Psc, в предположении об экранировании фотосферного излучения звезды нестационарным пылевым слоем. Здесь уместно отметить, что вид диаграмм блеск—показатель цвета

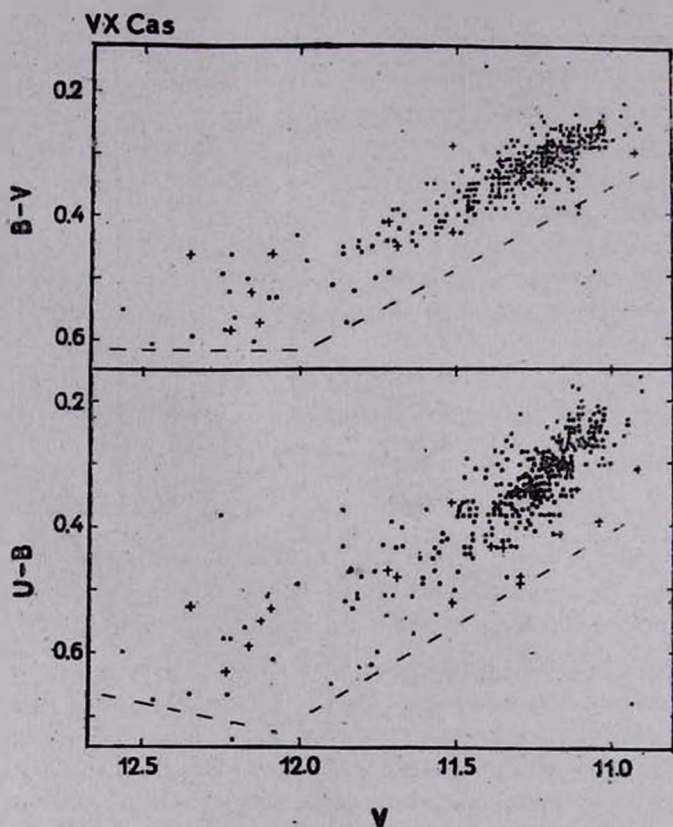


Рис. 1. Изменение показателей цвета с блеском для VX Cas. Точки — наблюдения автора, крестики — наблюдения Пугача [14].

для VX Cas, приведенных в [17], не соответствует наблюдениям, содержащимся в использованных в ней литературных источниках, согласно которым самый слабый зафиксированный блеск VX Cas $V = 12^m35$. На рис. 1 в работе [17] нанесены две точки, соответствующие $V \geq 12^m5$. Без этих двух точек совпадение расчетных и наблюдаемых зависимостей вообще сомнительно.

UX Ori. На рис. 2 представлены аналогичные диаграммы для изолированной неправильной переменной UX Ориона. Наблюдения автора [2] обозначены точками, наблюдения Хербста и др. [10] — крестиками. По-

следние приходится в основном на более яркий блеск и еще сильнее подчеркивают изменение знака зависимостей.

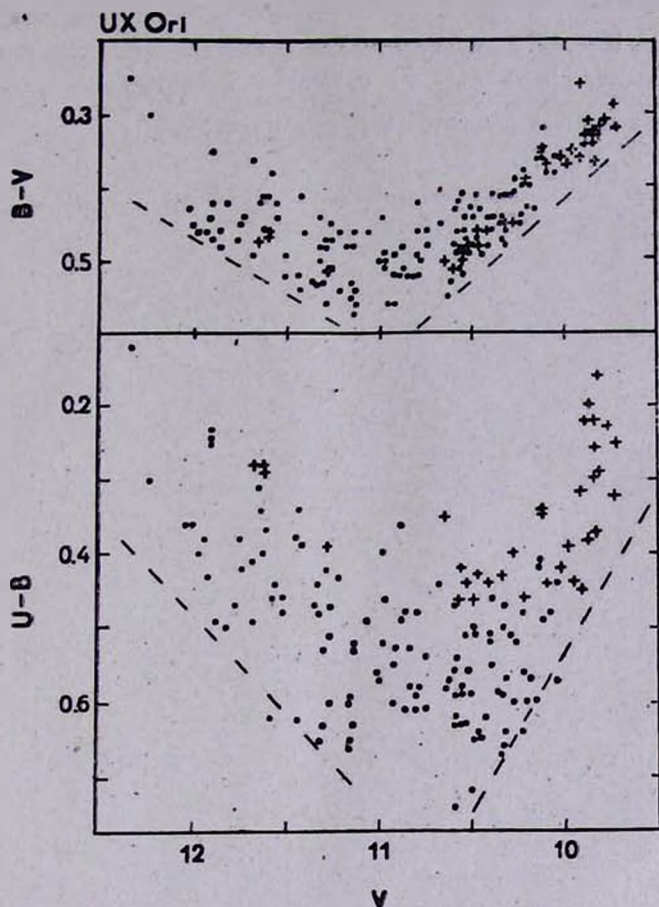


Рис. 2. Изменение показателей цвета с блеском для UX Ori. Точки — наблюдения автора, крестики — Хербста и др. [10].

WW Vul. Подобный характер связи блеска и показателей цвета отмечен у *WW Лисички* по наблюдениям Зайцевой за 15 лет (см. рис. 2 из [18]). Четырехлетний ряд фотоэлектрических наблюдений этой звезды, выполненных Кардополовым и Филиппевым [19], подтверждает ход указанных зависимостей. Однако наблюдения [19] имеют систематическое отличие от наших — на $+0^m05$ в показателях цвета ($B-V$) (такое же отличие отмечено для *VX Cas*).

RR Tau — звезда раннего спектрального типа Ae/Be Хербига [20, 21]. Амплитуда изменения блеска составляет около 4^m [22]. На рис. 3 пред-

ставлены диаграммы блеск — показатели цвета RR Tau, где наряду с наблюдениями автора (точки) представлены наблюдения Шаймиевой и Шутёмовой [23] — крестики. Наблюдения [23] проводились в основном при слабом блеске $V \lesssim 12^m.5$ и убедительно показали «поголубение» звезды в минимуме блеска. Цвета ($U-B$) в минимуме блеска звезды даже более голубые, чем в максимальном блеске, при $V \approx 10^m.5$.

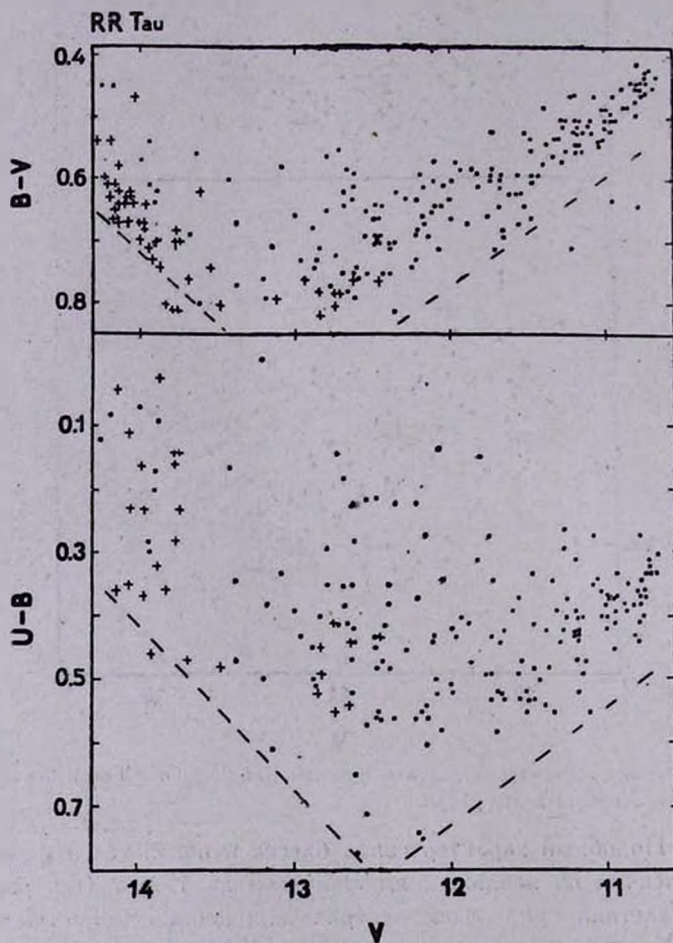


Рис. 3. Изменение показателей цвета с блеском для RR Tau. Точки — наблюдения автора, крестики — наблюдения Шаймиевой и Шутёмовой [23].

RZ Psc — неправильная переменная позднего спектрального типа K0 IV. Фотометрическое поведение этой звезды описано в работах [24—26]. Характер изменений показателей цвета ($B-V$) и ($U-B$) с изменением блеска демонстрирует рис. 5 из [26]. При колебаниях блеска около

максимального значения показателя цвета увеличиваются с уменьшением блеска, причем это увеличение показателей цвета соответствует температурному изменению от 5500 до 4800 К. При некотором среднем блеске наступает «перелом» в изменении показателей цвета — они начинают уменьшаться при ослаблении блеска, и в минимуме ($V \approx 13^m.8$) показатели цвета такие же, как при максимальном блеске ($V \approx 11^m.3$).

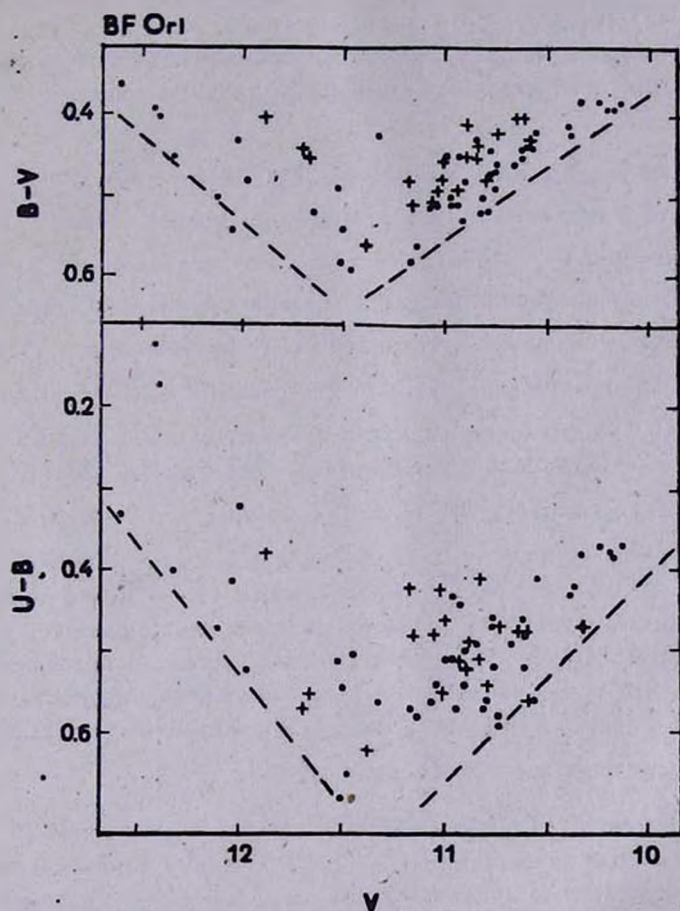


Рис. 4. Изменение показателей цвета с блеском для BF Ori. Точки — наблюдения Шайминой и Шутёмовой [23], крестики — наблюдения Хербста и др. [10].

BF Ori принадлежит скоплению Трапеции и является одной из наиболее активных переменных раннего спектрального класса с алгоподобными ослаблениями блеска. В общем характер переменности BF Ori аналогичен характеру переменности для WW Vul. На рис. 4 представлены диаграммы $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$ по наблюдениям Шайминой и Шутёмовой 4—915

вой [23] (точки) и Хербста и др. [10] (крестики). При некотором среднем блеске $V \approx 11^m.5$ направление изменения показателей цвета меняется, и в минимуме блеска показатели цвета в среднем такие же, как в максимуме.

Подобный неоднозначный характер зависимостей между блеском и показателями цвета ($B-V$) и ($U-B$) наблюдался у неправильных переменных СО Ориона (G5 V) [10], V 346 Ориона (A5 III) [5] и V 351 Ориона (A7 III) [6].

У звезд типа Т Тельца выявить статистически вид зависимости между блеском и цветом значительно труднее из-за влияния вспышек на показатели цвета.

Т Тау в последние годы постепенно увеличивала свой блеск и по наблюдениям автора достигла в 1983 г. наиболее яркого блеска, $V = 9^m.7$. Полная амплитуда ΔV составила за последнее десятилетие $0^m.9$. Указанные в [1] пределы изменения блеска Т Тельца значительно шире и достигают 4^m . Однако не исключено, что с 1916 г. (а возможно, и с 1911 г.) никто не наблюдал звезду слабее 11^m . На диаграмме $V-(B-V)$ (рис. 5) заметно изменение направления хода зависимости около $V \approx 10^m.1$. Точки на рисунке — наблюдения автора, крестики — данные из [28]. При ослаблении блеска от максимального $V \approx 9^m.7$ до среднего $V \approx 10^m.1$, показатель цвета ($B-V$) увеличился в среднем на $0^m.1$. Дальнейшее ослабление блеска происходило практически без изменения ($B-V$), что можно рассматривать как свидетельство возрастания доли ультрафиолетового излучения в минимуме. Показатель цвета ($U-B$) настолько подвержен влиянию вспышек, что трудно говорить о каких-либо закономерностях изменений ($U-B$) с блеском. Вспышки Т Тельца в фильтре U достигают амплитуды $0^m.75$, продолжительность их около суток [27].

RY Тау. Блеск RY Тельца до 1983 г. не поднимался выше $10^m.2$. При этом «излом» в ходе зависимости $V-(B-V)$ только намечался, в основном же была прослежена лишь обратная зависимость — уменьшение показателя цвета ($B-V$) с ослаблением яркости от $V = 10^m.2$ до минимума [29]. В октябре 1983 г. было отмечено сильное увеличение яркости RY Тельца — примерно на 1^m по сравнению с ее средним блеском в течение последних 20 лет [30, 31]. Наблюдения с октября 1983 г. по март 1985 г., когда звезда была в максимуме с небольшими колебаниями, значительно расширили диапазон изменений V . Полная наблюдаемая амплитуда возросла на $0^m.7$ и составила $2^m.2$, и изменение в направлении хода зависимо-

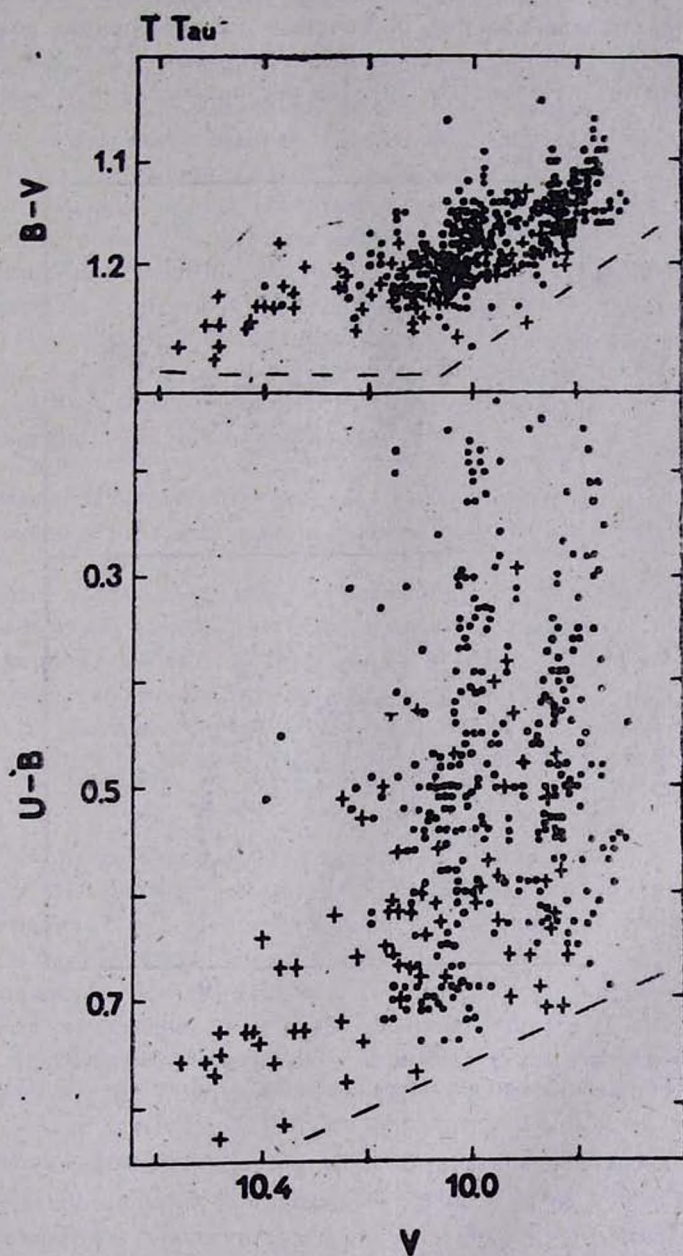


Рис. 5. Диаграммы $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$ для Т Тау. Точки — наблюдения автора, крестики — данные из [28].

стей $V-(B-V)$ и $V-(U-B)$ выявилось более четко. Соответствующие диаграммы представлены на рис. 6. Точками на диаграммах обозначены наблюдения автора, которые в основном опубликованы [29], крестиками — наблюдения других авторов [28, 30]. Из рисунка видно, что зависимость

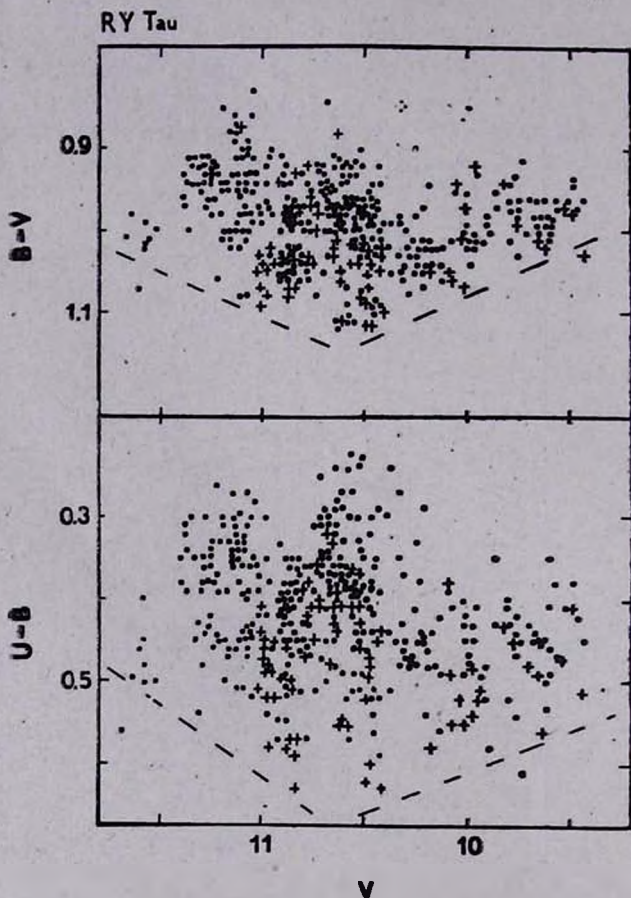


Рис. 6. Зависимость между блеском V и показателями цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ для RY Tau. Точки — наблюдения автора, крестики — наблюдения из [28, 30].

$V-(B-V)$ носит неоднозначный характер: при уменьшении блеска RY Тельца от $V = 9^m.4$ до $V = 10^m.6$ происходит увеличение показателя цвета, а при дальнейшем ослаблении показатель цвета уменьшается. На диаграмме $V-(U-B)$ заметна такая же тенденция, но выражена она несколько слабее из-за влияния вспышек на показатель цвета $(U-B)$. Наблюдения Т Тельца и RY Тельца, содержащиеся в [32], не нанесены на диаграммы, так как эти наблюдения проводились в среднем блеске и охва-

тывают небольшой диапазон изменений, $\Delta V < 0^m.2$ для Т Тау и $\Delta V \simeq 0^m.5$ для RY Тау.

Отметим, что разброс точек на всех диаграммах значительно превышает ошибки измерений и имеет, несомненно, физический смысл. В этой работе мы ставим своей задачей сопоставить общий вид зависимостей блеск — показатели цвета, который выделяется по нижним огибающим. Нижние огибающие на всех диаграммах (рис. 1—6) обозначены штриховыми линиями. Для тех звезд, показатели цвета которых не сильно искажены изменениями вспышечного характера (например, UX Ориона), ход нижних огибающих соответствует ходу средних показателей цвета. У тех звезд, для которых наблюдаются большие флуктуации блеска (например, RY Тельца, RR Тельца и др.), средние показатели цвета не отражают двузначного характера зависимостей блеск — цвет, который выделяется в этих случаях именно по нижним огибающим.

Выводы. Из рассмотрения рис. 1—6, данных табл. 1, а также уже опубликованных диаграмм можно сделать следующие выводы:

I. У тех звезд, для которых трехцветными наблюдениями охвачена полная амплитуда изменения блеска, «загиб» в ходе зависимостей блеск — показатель цвета выражен более заметно, и нередко показатели цвета в самом минимуме достигают тех же значений, что и в максимуме (WW Vul, UX Ori). Более того, в случае RR Тау, например, показатели цвета ($U-B$) в минимуме блеска даже меньше (звезда «голубее»), чем в максимуме блеска.

У VX Cas глубокие ослабления блеска с амплитудой до $1^m.5$ редки и, кроме того, трехцветные наблюдения отсутствуют в наиболее слабом блеске, отмеченном в [1]. Поэтому «загиб» в ходе зависимостей выражен слабее, хотя и намечается вполне отчетливо.

В отношении двух звезд типа Т Тельца RY Тау и Т Тау следует подчеркнуть ту же особенность. До тех пор, пока существенно не расширились пределы изменения блеска, охваченные трехцветными наблюдениями, двухкомпонентность зависимости блеск — цвет не была выявлена. Так, диаграммы блеск — цвет для Т Тау и RY Тау, опубликованные Врба и др. [33] и построенные по ограниченному ряду наблюдений, охватывающих далеко не полную амплитуду изменения блеска этих звезд, значительно отличаются от соответствующих диаграмм, представленных на рис. 5 и 6 данной работы.

Для звезды RZ Psc в [4] наблюдениями охвачена не полная амплитуда, самое слабое значение блеска $V \simeq 13^m$, и «излом» в ходе зависимостей только намечался (рис. 1, 2 в [4]). Изменение же знака зависимости

блеск—цвет происходит именно при $V \simeq 13^m 0$, и в наиболее глубоких минимумах $V \simeq 13^m 8$ показатели цвета такие же, как в максимуме блеска.

Таким образом, подчеркнем еще раз, что двузначность зависимости блеск—цвет в некоторых случаях может быть обнаружена лишь при условии, что трехцветными наблюдениями охвачена полная амплитуда изменения блеска.

II. Диапазон спектральных типов звезд, для которых обнаружен двузначный характер зависимости между блеском и показателями цвета, довольно широк — от A0 до K0. Классы светимости этих звезд также различны и заключены в пределах I—V. Кроме того, немонотонность зависимости блеск—цвет является свойством не только неправильных переменных, но и звезд типа Т Тельца. Такое же «поголубение» в минимуме блеска отмечалось и у объектов другого типа, например, у звезд типа R Северной Короны [34], новоподобного объекта Кувано [35]. По-видимому, это свойство в той или иной степени присуще всем объектам, переменность блеска которых связана с наличием пылевого компонента.

В заключение автор выражает глубокую благодарность В. М. Лютому за полезное обсуждение.

Крымская лаборатория
Государственного астрономического
ин-та им. П. К. Штернберга

ON THE COLOUR CHARACTERISTICS OF IRREGULAR VARIABLE STARS

G. V. ZAJTSEVA

On the basis of photoelectric *UBV*-observations of irregular variable stars it has been shown that the dependence between the *V*-brightness and colour indices (*B*—*V*) and (*U*—*B*) is not a monotonous one. At the diminution of the star brightness from the maximum to some medium value colour indices increase at average but at the further brightness diminution they decrease (the star becomes bluer at the minimum of its brightness). Such a heterogeneous dependence is inherent not only to the irregular variables of early and late classes but also in the T Tauri stars.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общий каталог переменных звезд, Наука, М., 1985.
2. Г. В. Зайцева, Перемен. звезды, 19, 63, 1973.

3. H. R. E. Tjln, A. Djte, L. Remtjn, P. S. The, *Astron. and Astrophys.*, 134, 273, 1984.
4. А. Ф. Пузач, *Астрофизика*, 17, 87, 1981.
5. Г. У. Ковальчук, *Астрофизика*, 23, 255, 1985.
6. Г. У. Ковальчук, *Кинематика и физика небесных тел*, 1, 25, 1985.
7. Г. В. Зайцева, П. Ф. Чузайнов, *Астрофизика*, 20, 447, 1984.
8. Р. Е. Гершберг, П. П. Петров, *Письма в Астрон. ж.*, 2, 499, 1976.
9. I. Appenzeller, D. S. P. Dearborn, *Astrophys. J.*, 278, 689, 1984.
10. W. Herbst, J. A. Holtzman, B. E. Phelps, *Astron. J.*, 88, 1648, 1983.
11. Б. В. Кукаркин, П. Н. Холопов и др. *Общий каталог переменных звезд*, М., 1969.
12. C. Hoffmeister, *Astron. Nachr.*, 278, 24, 1949.
13. Д. Я. Мартынов, *Изв. Астрон. Энгельгардтовск. обсерв.*, 26, 9, 1951.
14. А. Ф. Пузач, *Астрометрия и астрофиз.*, 39, 8, 1979.
15. В. И. Кардополов, Г. К. Филиппов, *Циркуляр АИ АН Узб.ССР*, № 96, 34, 1981.
16. В. И. Кардополов, Г. К. Филиппов, *Перемен. звезды*, 22, 153, 1985.
17. А. Ф. Пузач, *Астрофизика*, 19, 739, 1983.
18. Г. В. Зайцева, *Перемен. звезды*, 22, 1, 1983.
19. В. И. Кардополов, Г. К. Филиппов, *Перемен. звезды*, 22, 122, 1985.
20. G. H. Herbig, *Astrophys. J. | Suppl. Ser.*, 4, 337, 1960.
21. Г. В. Зайцева, В. М. Лютый, *Астрофизика*, 15, 75, 1979.
22. S. Rossiger, W. Wenzel, *Astron. Nachr.*, 295, 47, 1974.
23. А. Ф. Шаймиева, Н. А. Шутёмова, *Перемен. звезды*, 22, 167, 1985.
24. А. Ф. Пузач, *Препр. ИТФ-81-128-Р*, 1981.
25. Г. В. Зайцева, *Письма в Астрон. ж.*, 4, 283, 1975.
26. Г. В. Зайцева, *Перемен. звезды*, 22, 181, 1985.
27. Г. В. Зайцева, *Астрофизика*, 14, 17, 1978.
28. A. E. Rydgren, J. T. Schmelz, D. S. Zak, F. J. Vrba, *Naval Observ. Publ.*, 25, part 1, 1984.
29. Г. В. Зайцева, *Астрофизика*, 18, 67, 1982.
30. W. Herbst, P. C. Stine, *Astron. J.*, 89, 1716, 1984.
31. Г. В. Зайцева, Е. А. Кологиллов, П. П. Петров, А. Е. Тарасов, В. И. Шенаврин, А. Г. Щербakov, *Письма в Астрон. ж.*, 11, 271, 1985.
32. В. И. Кардополов, Г. К. Филиппов, *Перемен. звезды*, 22, 105, 1985.
33. F. J. Vrba, A. E. Rydgren, D. S. Zak, J. T. Schmelz, *Astron. J.*, 90, 326, 1985.
34. Р. И. Гончарова, *Письма в Астрон. ж.*, 11, 855, 1985.
35. Е. А. Кологиллов, *Астрон. ж.*, 60, 746, 1983.