

УДК: 524.3:524.5:520.82

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ ВОКРУГ ПЛЕЙОНЫ В 1971—76 гг.

В. Т. ДОРОШЕНКО

Поступила 12 апреля 1988

Принята к печати 10 июля 1988

Для объяснения UBV -наблюдений Плеяды в 1971—76 гг. использовалась двух-компонентная модель, состоящая из постоянного (звезда) и переменного (оболочка) источника, который меняет яркость, но не меняет своего цвета. Показатели цвета оболочки, освобожденные от межзвездного покраснения, получались равными: $(U-B)_0 = -1^m.25$ и $(B-V)_0 = -0^m.26$. Они хорошо соответствуют следующим параметрам звезды и газа: $T_{eff} = 11\,500\text{--}12\,000\text{ K}$, $T_e = 10\,000\text{ K}$, $N_e = 2 \cdot 10^{10}\text{ см}^{-3}$, дилюция излучения $W \approx (1 \div 2) \cdot 10^{-2}$ и вероятности выхода $L\alpha$ -кванта $\beta_{12} \approx (1 \div 2) \cdot 10^{-5}$. Поведение показателей цвета и блеска звезды в фильтре V в 1976—82 гг. свидетельствует об усилении селективного фактора, действующего только в ультрафиолетовой области и, по-видимому, связанного с блокирующим влиянием линий поглощения оболочки. В результате последующей диссипации оболочки показатели цвета звезды в 1986 г. возвращались к значениям, которые были до сброса оболочки в 1970—71 гг.

1. *Введение.* Плеяда — шелл-звезда B8V, оболочка которой временно становится довольно мощной, а затем диссипирует и исчезает вовсе. В 1969—70 гг. вокруг Плеяды образовалась новая оболочка. С 1971 г. А. С. Шаров и В. М. Лютый ведут UBV -фотометрический патруль Плеяды. Их данные, опубликованные в [1—6], послужили основанием для представленной работы, в которой рассматриваются свойства оболочки Плеяды, полученные только из анализа UBV -наблюдений.

2. *Показатели цвета оболочки.* Согласно UBV -наблюдениям [1—8] кривая блеска Плеяды в фильтре V (рис. 1) показывает вначале ослабление $V \approx 5^m.0\text{--}5^m.4$, длившееся с 1971 г. до 1974 г., а затем постепенное медленное увеличение яркости. С 1978 г. по 1982 г. наблюдалось плато вблизи среднего уровня $V = 5^m.2$, а после 1982 г. продолжилось медленное повышение яркости. На диаграммах «цвет—величина», построенных нами по этим наблюдениям и представленным на рис. 2, видно, что при ослабле-

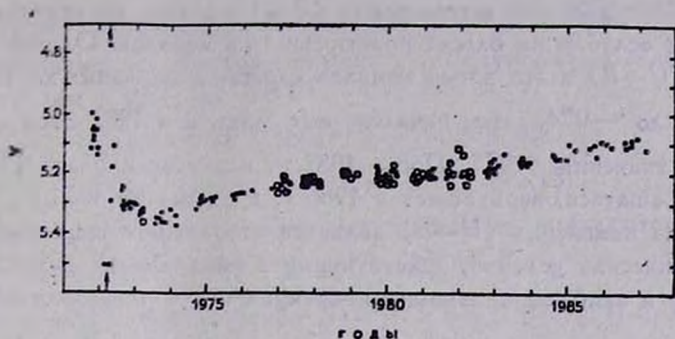


Рис. 1. Кривая блеска Плеяды в фильтре V. Заполненными кружками обозначены данные Шарова и Лютого [1—5]. Открытыми кружками — различные литературные данные. Стрелками отмечены наблюдения в марте 1972 г.

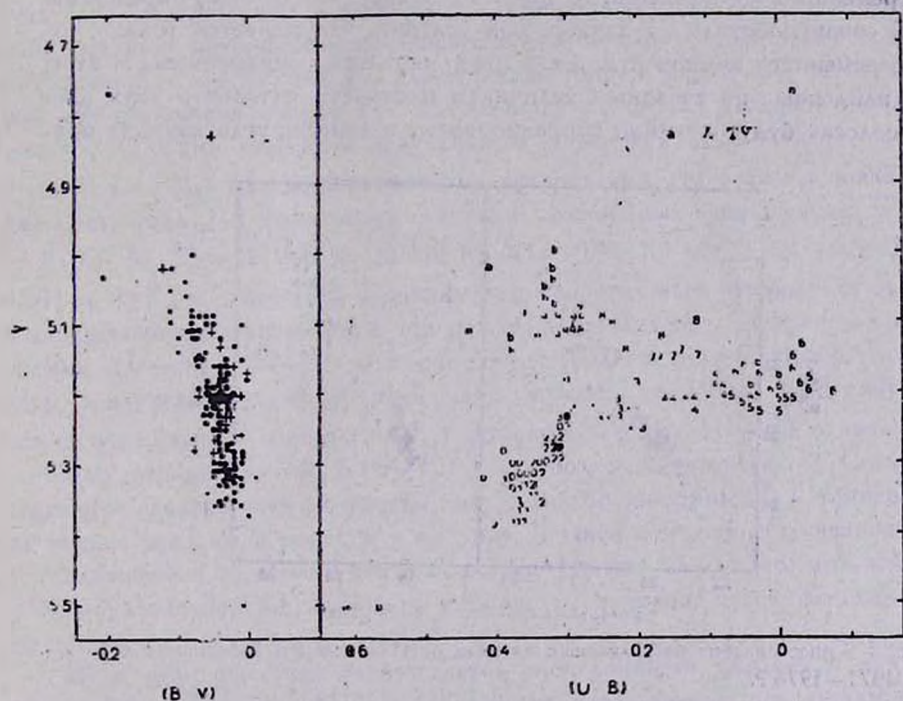


Рис. 2. Сопоставление показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ с яркостью в фильтре V. Разные символы на графике $V-(U-B)$ обозначают разные годы наблюдений: а — 1968—69; б — 1970—71; 0 — 1972; 1 — 1973; 2 — 1974—75; 3 — 1976—77; 4 — 1978—79; 5 — 1980—81; 6 — 1982—83; 7 — 1984; 8 — 1985; 9 — 1986—1987.

нии блеска до $V = 5^m 2$ показатель цвета ($B-V$) слегка увеличивался, а при дальнейшем ослаблении блеска практически не менялся. Однако показатель блеска ($U-B$) в это время менялся сложным образом: до 1976 г. он уменьшался до $-0^m 4$, затем начался его рост, и в 1982 г. он достиг максимального значения $+0^m 1$. После 1982 г. показатель цвета ($U-B$) снова стал уменьшаться, вернувшись в 1986 г. к значению 1971 г. Такая сложная картина изменения ($U-B$) является отражением существования различных физических условий, действующих в оболочке на разных этапах ее развития и наиболее сильно проявляющихся в коротковолновой области спектра.

Поведение показателей цвета в течение 1971—76 гг. было рассмотрено в рамках двухкомпонентной модели, для чего использовался метод разделения источника на компоненты, предложенный Холоневским [13]. Согласно Холоневскому, если источник излучения состоит из постоянного и переменного компонентов, то цвета последнего могут быть определены по всей совокупности UBV -данных при условии, что меняется только яркость переменного компонента, а его цвет остается неизменным. В этом случае найденные по звездным величинам плотности потоков в двух цветовых полосах будут линейно коррелированы, и тангенс угла наклона пря-

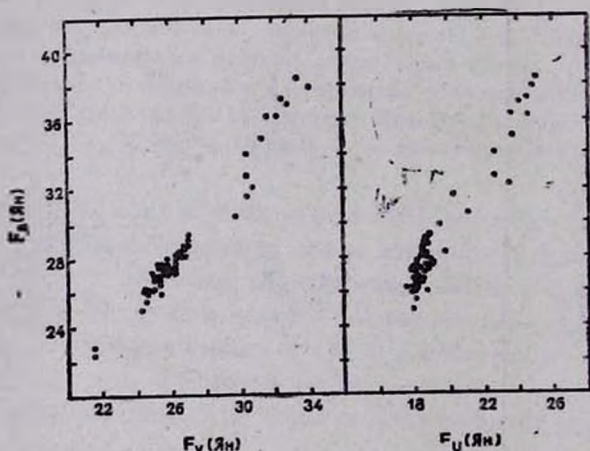


Рис. 3. Сопоставление наблюдаемых потоков от Плейоны в UBV -полосах (F_U , F_B , F_V) за 1971—1976 г.

мой определяется показателем цвета переменного компонента. На рис. 3 дается сопоставление потоков, выраженных в Ян, полученных по наблюдениям Шарова и Лютото в 1971—76 гг. в UBV полосах [1—5] (58 точек). Из рис. 3 видно, что наблюдаемые точки действительно группируются возле прямых линий. Коэффициенты корреляции потоков F_B , F_V и F_B , F_U

соответственно равны $r_{BV} = 0.977 \pm 0.005$ и $r_{BU} = 0.966 \pm 0.009$. Методом наименьших квадратов получены следующие уравнения связи между потоками в полосах UBV :

$$F_B = (1.50 \pm 0.01) F_U - (0.23 \pm 0.27),$$

$$F_B = (1.29 \pm 0.02) F_V - (5.77 \pm 0.15).$$

Отсюда показатели цвета переменного компонента получаются равными: $(B - V)_{\text{вар.}} = -0^m23 \pm 0^m02$ и $(U - B)_{\text{вар.}} = -1^m22 \pm 0^m04$. После учета межзвездного поглощения $E(B - V) = 0^m035$ [14] получаем

$$(B - V)_{\text{вар.}}^0 = -0^m26 \text{ и } (U - B)_{\text{вар.}}^0 = -1^m25.$$

3. *Характеристики газовой оболочки.* Рассмотрим, каким характеристикам газовой оболочки соответствуют полученные показатели цвета. Для этого воспользуемся сделанной Н. Х. Миникуловым [15] программой расчета колориметрических характеристик однородных водородных образований, состояние которых можно описать пятью независимыми параметрами: электронной температурой T_e , электронной концентрацией N_e , температурой возбуждающей звезды T_* , излучающей по закону Планка, коэффициентом дилуции звездного излучения W и вероятностью выхода кванта в линии $L_\alpha - \beta_{12}$. Миникулов любезно предоставил нам расчеты показателей цвета газа для нескольких значений указанных параметров: $T_e = 10\,000$ К, $T_* = 11\,000$ К, $12\,000$ К, $N_e = 10^{10}, 10^{11}$ см $^{-3}$, $W = 0.1, 0.01, 0.001$ и $\lg \beta_{12} = -4 \div -8$. Сравним эти теоретические показатели цвета с наблюдаемыми значениями. На рис. 4 представлена двухцветная диаграмма « $(U - B) - (B - V)$ » для газа с $T_e = 10\,000$ К. Как и следовало ожидать, при увеличении непрозрачности в линиях водорода (что соответствует уменьшению параметра β_{12}) показатель цвета $(U - B)$ становится все более отрицательным, а $(B - V)$ — все более положительным. Соответствующие электронные плотности газа и фактор дилуции W , и температура звезды указаны в подписи к рисунку. Точкой отмечено полученное выше положение показателей цвета оболочки. Из рисунка видно, что наблюдениям удовлетворяют несколько наборов параметров, некоторые варианты которых представлены в табл. 1.

Итак, если оболочка возбуждается электронными ударами и излучением звезды с $T_{\text{eff}} \approx 11\,500 \div 12\,000$ К, то наблюдаемые показатели цвета оболочки удовлетворяют следующим параметрам: $T_e = 10\,000$ К, $N_e \approx 2 \cdot 10^{10}$ см $^{-3}$, $W \approx (1 + 2) \cdot 10^{-2}$ и $\beta_{12} \approx (1 + 2) \cdot 10^{-5}$.

Сравним эти величины с теми, что получаются из анализа линейчатого спектра Плеионы. Согласно работам [9—12], эквивалентные ширины абсорбционных линий $H_\beta - H_\gamma$ в фазе, предшествующей сбросу оболоч-

ки, соответствуют звезде с $T_{eff} = 12\,000$ К. По контуру линии К Ca II найдено, что электронная температура оболочки не может быть существенно ниже $10\,000$ К [9]. Такая же температура оболочки была и во время предыдущего сброса в 1938—54 гг. [16]. Рассматривая дисковую модель оболочки Плеяды в 1972—75 гг., Хирата и др. [10] получили параметры диска, очень близкие к тому, что было найдено нами по фотометрическим

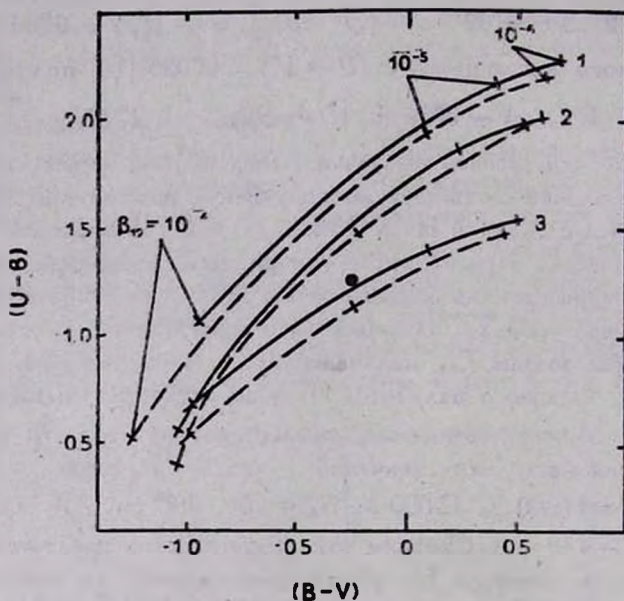


Рис. 4. Двухцветная диаграмма « $(U-B)-(B-V)$ » для газа с $T_e = 10\,000$ К. Если возбуждающая звезда имеет температуру $T_e = 11\,000$ К, то изменения цвета показаны пунктиром, если $T_e = 12\,000$ К, то — сплошной линией. Семейство кривых, обозначенных справа цифрой 1, соответствует $N_e = 10^{10}$ см $^{-3}$ и $W = 0.1$, цифрой 2 — $N_e = 10^{11}$ см $^{-3}$, $W = 0.01$ и цифрой 3 — $N_e = 10^{10}$ см $^{-3}$ и $W = 0.01$. Реперы на кривых соответствуют вероятности выхода Ly α -кванта $\beta_{12} = 10^{-4}$ (нижние), 10^{-6} и 10^{-8} (верхние). Точкой отмечено положение показателей цвета газовой оболочки вокруг Плеяды, согласно нашей оценке.

данным: $N_e \approx 2 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^{11}$ см $^{-3}$, оптическую толщину в линии H α от 1500 до 180, геометрическую толщину в проекции на диск звезды $H/R_* \approx 20\% + 90\%$ и протяженность оболочки по экватору $R_{ob} \approx (3 \div 3.5) R_*$. Большая оптическая толщина в линии H α свидетельствует о большом τ (Ly α) и, следовательно, о малом значении β_{12} .

Как видим, параметры оболочки в 1972—76 гг., определенные только по показателям цвета, вполне согласуются с оценками, полученными из анализа линейчатого спектра Плеяды.

4. О показателях цвета Плейоны после 1976 г. Как уже указывалось выше, большие изменения показателя цвета ($U-B$) после 1976 г. происходили на фоне незначительных изменений яркости звезды V и при практически неизменном показателе цвета ($B-V$). Отсюда следует, что все изменения происходили в узком спектральном диапазоне в полосе U . Если учесть, что в это время усиливаются абсорбционные линии металлов, возникающие в оболочке [9, 12, 17], то кажется весьма вероятным, что эти явления взаимосвязаны. Количественная оценка влияния линий поглощения металлов на развитие показателя цвета ($U-B$) в 1976—85 гг. возможна после полного анализа линейчатого спектра.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ,
УДОВЛЕТВОРЯЮЩИЕ НАБЛЮДАЕМЫМ
ПОКАЗАТЕЛЯМ ЦВЕТА ($U-B$) И ($B-V$)

T_* (К)	T_e (К)	N_e (см $^{-3}$)	W	β_{12}
10 000	11 000	$4 \cdot 10^{10}$	10^{-2}	10^{-5}
10 000	12 000	$2 \cdot 10^{10}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-5}$
10 000	11 000	10^{10}	$1.8 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$
10 000	12 000	10^{10}	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-5}$
10 000	11 500	$1.6 \cdot 10^{10}$	10^{-2}	$1.3 \cdot 10^{-5}$

Расширение оболочки, ее диссипация способствовали тому, что после 1986 г. цветовые характеристики звезды вернулись к значениям 1971 г.

5. О быстрых изменениях цвета и блеска Плейоны. На кривых блеска в UBV -фильтрах, полученных Шаровым и Лютым [1—6], привлекают внимание быстрые и значительные колебания яркости V и показателей цвета в марте 1972 г. (область на рис. 1 отмечена стрелкой). Эти изменения требуют тщательного анализа: с одной стороны, показатели цвета меняются в ту же сторону, что и при медленных изменениях, а, с другой, такие большие амплитуды изменений за 4—6 дней ($\Delta V = 0^m.77$, $\Delta(U-B) = 0^m.63$ и $\Delta(B-V) = 0^m.19$) больше никогда не встречались. Возможно, быстрые изменения яркости и цвета связаны с бурными процессами в период сброса оболочки. Прояснить понимание этих процессов могли бы поляризационные наблюдения, которые, судя по литературе, к сожалению, в 1972—73 гг. отсутствуют.

6. Заключение. Таким образом, рассмотрение опубликованных фотометрических наблюдений Плейоны на основе двухкомпонентной модели, позволило определить, что излучение Плейоны до 1976 г. состояло из излу-

чения звезды с $T_{eff} = 11\,500 \div 12\,000$ К и переменного излучения оболочки с показателями цвета $(U - B)_0 = -1^m.25$ и $(B - V)_0 = -0^m.26$. В предположении, что оболочка возбуждается электронными ударами и ультрафиолетовым излучением звезды, определены физические параметры оболочки: $T_e = 10\,000$ К, $N_e \approx 2 \cdot 10^{10}$ см $^{-3}$, $W \approx (1 + 2) \cdot 10^{-2}$ и $\beta_{12} \approx (1 + 2) \cdot 10^{-5}$.

Изменения $(U - B)$ после 1976 г., по-видимому, связаны с селективным фактором, поглощающим свет только в ультрафиолетовой области. Скорее всего, это можно связать с влиянием абсорбционных линий за бальмеровским скачком.

Диссипация оболочки, начавшаяся, по-видимому, после 1982 г., привела к возврату в 1986 г. показателей цвета звезды к значениям, которые были до сброса оболочки в 1970—1971 гг.

Приношу глубокую благодарность Н. Х. Миниколову, предоставившему мне до опубликования некоторые варианты теоретических расчетов показателей цвета газа, а также В. М. Лютому за сообщение UBV -данных по Плеяде за 1985—86 гг. до опубликования.

Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга

PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF PLEIONE'S SHELL IN 1971—1976

V. T. DOROSHENKO

UBV observations of Pleione in 1971—1976 were considered in the frame of two — component model including invariable (star) and variable (shell) sources under the assumption that the shell has variable brightness and constant colors. On the basis of this method, intrinsic colors of Pleione's shell were estimated: $(U - B)_0 = -1.25$, $(B - V)_0 = -0.26$. These colors fit well into the continuous emission from optically thin hydrogen envelope which is excited and ionized by electron collisions and radiation from the star with the following parameters: effective stellar temperature $T_* = 11\,500 + 12\,000$ K, electron temperature $T_e = 10\,000$ K, mean electron density $N_e = 2 \cdot 10^{10}$ cm $^{-3}$, dilution factor $W = (1 + 2) \cdot 10^{-2}$ and $Ly\alpha$ — quantum escape probability $\beta_{12} = (1 + 2) \cdot 10^{-5}$. The Pleione's V -brightness and color behaviour in 1976—1982 may be associated with the blocking effect of shell absorption lines in U -band. The following dissipation of shell led to the return of colors of Pleione in 1986 to those in 1970—71 before the beginning of the shell phase.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Перемен. звезды, 18, 377, 1972.
2. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Астрон. циркуляр, № 872, 1, 1975.
3. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Астрон. циркуляр, № 956, 5, 1977.
4. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Астрон. циркуляр, № 1119, 1, 1980.
5. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Астрон. циркуляр, № 1333, 1, 1984.
6. А. С. Шаров, В. М. Лютый, Астроном. ж., 65, 593, 1988.
7. P. Hermanec, Bull. Astron. Inst. Czech., 31, 144, 1980.
8. U. Hopp, S. Witzigmann, Inform. Bull. Var. Stars, No. 1782, 1980.
9. R. Hirata, T. Kogure, Publ. Astron. Soc. Jap., 28, 509, 1976.
10. R. Hirata, T. Kogure, Publ. Astron. Soc. Jap., 29, 477, 1977.
11. R. Hirata, T. Kogure, Publ. Astron. Soc. Jap., 30, 601, 1978.
12. T. Higurashi, R. Hirata, Publ. Astron. Jap., 30, 615, 1978.
13. J. Choloniewski, Acta Astron., 31, 293, 1981.
14. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Astrophys. J., 117, 313, 1953.
15. Н. Х. Мичикулов, Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 76, 43, 1987.
16. J. M. Marlborough, Astrophys. J., 163, 525, 1971.