

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 17

МАЙ, 1981

ВЫПУСК 2

УДК 524.31

О ДЕФИЦИТЕ ИЗЛУЧЕНИЯ SHELL-ЗВЕЗД В БАЛЬМЕРОВСКОМ КОНТИНУУМЕ

Я. Н. ЧХИКВАДЗЕ

Поступила 23 февраля 1980

Принята к печати 21 января 1981

Проведено статистическое исследование распределений специально подобранных фотометрических параметров всех известных shell и нормальных Be-звезд. На основе результатов исследования сделан вывод о наличии у shell-звезд дефицита ультрафиолетового излучения, что, по нашему мнению, обусловлено ощутимой оптической толщиной газовых оболочек shell-звезд в бальмеровском континууме. Различия в мощности излучения газовых оболочек shell и нормальных Be-звезд не обнаружено. Подтверждено мнение о том, что shell-звезды характеризуются более поздними спектральными классами, чем нормальные Be-звезды.

1. *Введение.* В работе [1] нами было обращено внимание на тот факт, что некоторые звезды класса Be характеризуются аномально большими бальмеровскими скачками. В конкретных случаях (EW Lac, 48 Lib, ζ Tau) аномальность отчетливо выражалась в виде дополнительного абсорбционного (а не эмиссионного) скачка, смещенного от «звездного» скачка в сторону коротких волн.

С другой стороны, не менее важным оказалось следующее обстоятельство: почти все объекты с аномальными скачками классифицированы как shell-звезды. В свете указанных фактов было сделано заключение, что у исследуемых в работе [1] shell-звезд газовые оболочки характеризуются ощутимой непрозрачностью в бальмеровском континууме.

Цель настоящей работы заключается в выяснении наличия дефицита ультрафиолетового излучения в shell-звездах на основе статистического исследования специально подобранных фотометрических параметров известных по литературе звезд такого рода.

2. *Методика исследования.* Будем исходить из общепринятой модели, согласно которой излучение звезды класса Ве есть сумма излучений газовой (водородной) оболочки и обычной В-звезды. Тогда справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} (U-V)^{Be} - (U-V)^* &= -2.5 \lg \{1 - \beta + \beta 10^{-0.4[(U-V)^{г.о.} - (U-V)^*]}\}, \\ (B-V)^{Be} - (B-V)^* &= -2.5 \lg \{1 - \beta + \beta 10^{-0.4[(B-V)^{г.о.} - (B-V)^*]}\}, \\ (V-K)^{Be} - (V-K)^* &= +2.5 \lg \{1 - \beta + \beta 10^{0.4[(V-K)^{г.о.} - (V-K)^*]}\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где индексами (Ве), (*) и (г. о.) обозначены показатели цвета Ве-звезды, В-звезды и газовой оболочки в известной многоцветной системе Джонсона, а β — доля излучения газовой оболочки в суммарном блеске через фильтр V .

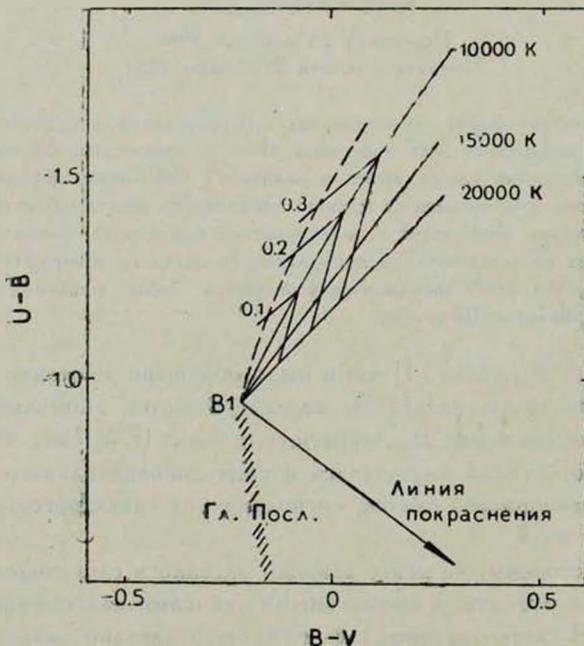


Рис. 1. Трек звезды класса В1е на двухцветной диаграмме. Объяснение в тексте.

На рис. 1 показан трек Ве-звезды на двухцветной диаграмме. Расчеты были проведены для трех значений электронной температуры: 10 000 К, 15 000 К, 20 000 К. Водородная оболочка считалась оптически прозрачной в континуумах субординатных серий. Значение электронной плотности принималось больше 10^6 см^{-3} . Расчеты проводились без учета вклада

эмиссионных линий водорода. Однако учет вклада линий качественно не меняет картину изменения показателей цвета относительно главной последовательности и вектора нарастающего покраснения [2]. Например, при $T_e = 10\,000 - 15\,000$ К вклад эмиссионных линий через фильтр B дает избыток порядка 0.15 звездной величины при $\beta = 0.30$, хотя последнее значение параметра β очень велико, и вряд ли у большинства звезд класса Be имеются столь мощные газовые оболочки. На рис. 1 трек Be -звезды с учетом эмиссионных линий обозначен пунктиром, а цифры около тонких линий показывают значения параметра β .

Как видно из рис. 1, при наличии у Be -звезды оптически прозрачной оболочки в континуумах субординатных серий она на двухцветной диаграмме смещается вверх и вправо от главной последовательности и вектора покраснения; это и наблюдается у большинства звезд класса Be [3, 4].

В работе [1] было установлено, что в, так называемых, нормальных Be -звездах, то есть в объектах, не характеризующихся признаками shell и имеющих по сравнению с обычными B -звездами тех же подклассов малые значения бальмеровского скачка, наблюдается хорошо выраженная пропорциональная зависимость между разностями $\Delta D = D^{Bc} - D^*$ и $\Delta Q_{UBV} = Q^{Bc} - Q^*$, где D — бальмеровский скачок и $Q = (U - B) - 0.72(B - V)$. При этом ΔQ_{UBV} и ΔD отрицательны. Между тем, у рассмотренных в работе [1] shell-звезд, у которых естественно $\Delta D > 0$, положительными оказались также ΔQ_{UBV} .

Таким образом, методика нашего исследования основывается на том предположении, что оптически прозрачная оболочка в бальмеровском континууме должна давать избыток излучения в фильтре U и, следовательно, ΔQ_{UBV} должна быть меньше нуля.

С другой стороны, если оптическая толщина водородной оболочки не мала, то должен наблюдаться определенный дефицит ультрафиолетового излучения при всех прочих одинаковых параметрах звезды и газовой оболочки. По крайней мере для звезд с заметной оптической толщиной в оболочке величина Q_{UBV} должна быть алгебраически больше аналогичной величины, определенной для Be -звезды с оболочкой, оптически прозрачной в бальмеровском континууме. Нетрудно показать, что это различие между ΔQ_{UBV} должно быть порядка оптической толщины оболочки около $\lambda 3646$ А. Последняя величина, судя по значениям дополнительных shell-скачков, наблюдаемых у наиболее представительных shell-звезд, не превышает 0.10—0.20 [1]. Поэтому ясно, что у большинства shell-звезд с менее развитыми характеристиками shell эффект дефицита ультрафиолетового излучения должен быть не столь ощутимым и может быть замаскирован некоторыми трудно учитываемыми причинами.

Среди тех причин, которые могут внести ощутимые ошибки в ложную информацию в параметры Q_{UBV} наиболее важными являются:

1) Неуверенная спектральная классификация. При допущении, что точность определения спектрального класса не превышает ± 1 подкласс $\sigma(\Delta Q_{BVK}) \leq 0.10$ [5]. 2) Наличие вокруг звезд газово-пылевых образований в виде отражательных и пылевых оболочек, которые в той или иной мере могут внести дополнительные изменения в истинную картину распределения энергии shell и нормальных Ве-звезд. 3) Наличие у звезд фотометрически неразделимого второго компонента.

Во избежание ошибок, вызванных перечисленными причинами, для исследования были отобраны все те shell и нормальные Ве-звезды, которые не связаны с отражательными туманностями, не имеют пылевых оболочек (так называемые Ве/Ае звезды Хербига, Вер-звезды с ИК-избытками и др.) и классифицированы с ошибкой не более чем ± 1 подкласс. Переменные звезды с амплитудой изменения блеска более, чем 0.5 звездной величины, также не рассматривались, ибо считается, что переменность блеска Ве-звезд с указанной амплитудой и более обусловлена не изменением мощности самой газовой оболочки, а «собственной» нестационарностью звезды.

Данные спектральной классификации, многоцветной фотометрии и другие характеристики исследуемых звезд были взяты из работ [6—13].

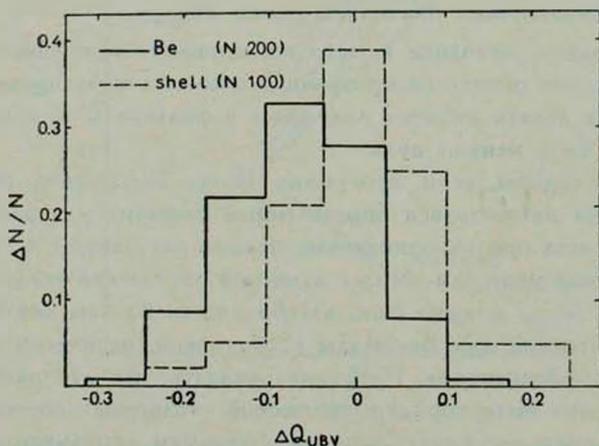


Рис. 2. Гистограмма ΔQ_{UBV} величин для shell и нормальных Ве-звезд. N — число объектов.

3. Результаты исследования. На рис. 2 представлены гистограммы ΔQ_{UBV} величин для shell и нормальных Ве-звезд. В табл. 1 приведены оценки стандартных статистик указанных распределений.

Идентичны ли распределения по ΔQ_{UBV} для указанных групп звезд? Предварительно убеждаемся, что выборочные дисперсии различаются незначительно, поскольку наблюдаемая величина дисперсионного отношения Фишера $F_{наб.} = 1.074$ меньше критического значения $F_{кр.} = 1.27$ при уровне значимости 0.05 [14]. Далее, используя критерии t статистики Стьюдента [14] находим: $t_{наб.} = 7.85$, что больше критической величины этой же статистики $t_{кр.} = 1.66$. Сказанное означает, что при уровне значимости 0.05 средние значения shell и нормальных Ве-звезд отличаются существенно. По критерию Колмогорова [15] также получается, что при уровне значимости 0.05 вышеуказанные распределения не являются выборками из одной генеральной совокупности:

$$D_{наб.} = 0.30 \text{ больше } D_{кр.} = 0.166.$$

Таблица 1

Параметры распределения	shell	Ве
Среднее значение	+0.011	-0.066
Дисперсия	$6.68 \cdot 10^{-3}$	$6.22 \cdot 10^{-3}$
Число объектов	100	200

Еще в сороковых годах Струве отметил, что shell-звезды в среднем более холодные по сравнению с нормальными Ве-звездами [16]. К настоящему времени накопился значительный и информативный материал о shell и нормальных Ве-звездах. Рассмотрим на основе этого материала характер распределения интересующих нас объектов по спектральным классам. Результаты исследования приведены на рис. 3. Среднее значение спектрального класса для shell-звезд В5, а для нормальных Ве-звезд — В2.5. По критерию Колмогорова оказалось, что при уровне значимости 0.05 $D_{наб.} = 0.40$, а $D_{кр.} = 0.136$. Полученные оценки показывают, что различие shell и нормальных Ве-звезд по спектральным классам значимо.

В этой связи отметим следующее обстоятельство. Согласно данным [12] и [17], судя по интенсивностям эмиссионных линий водорода и ИК избыткам, мощность излучения газовых оболочек в эмиссионных звездах класса О, В и А увеличивается с переходом от поздних к более ранним подклассам. Поэтому можно было бы думать, что систематическое различие в ΔQ_{UBV} параметре не обусловлено тем, что shell-звезды более холодные и должны были бы иметь менее мощные газовые оболочки. Однако конкретное исследование вопроса, отличаются ли друг от друга shell и нормальные Ве-звезды мощностью излучения оболочки, насколько нам известно, не проводилось. Хотя, по данным А. А. Боярчука, наблюдается корреляция между интенсивностью эмиссионной линии $H\gamma$ (глазомерные

оценки интенсивностей линии H_α Меррилла [18]) и скоростью вращения Ве-звезд вообще [19]. Между тем известно, что shell-звезды являются более быстро вращающимися по сравнению с нормальными Ве-звездами [20].

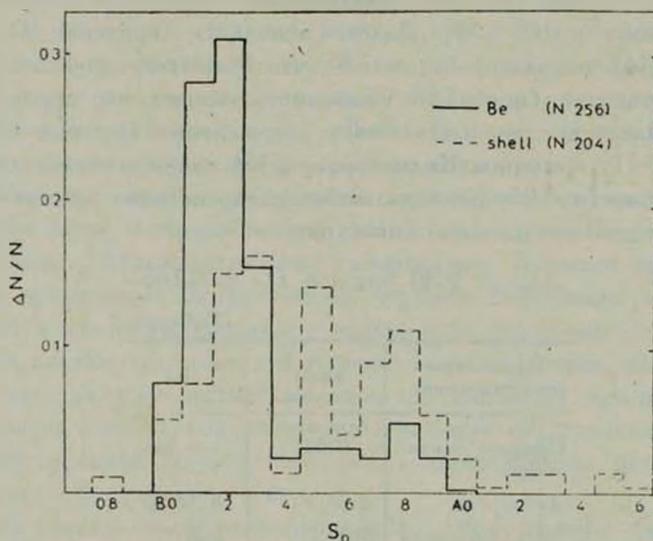


Рис. 3. Гистограммы распределения shell и нормальных Ве-звезд по спектральным классам. N — число объектов.

Из вышеперечисленных фактов косвенным образом можно заключить, что shell-звезды должны обладать мощно излучающими газовыми оболочками. Однако заметим, что Брио в своей работе [17] не подтвердила наличия корреляционной зависимости между скоростью вращения и интенсивностью эмиссионной линии H_α . При этом она уже пользовалась количественными оценками — эквивалентными ширинами эмиссионных линий.

Для оценки мощности излучения газовой оболочки рассмотрим независимый от межзвездного покраснения параметр $Q_{BVK} = (B - V) - E_{BV}/E_{VK}(V - K)$, $E_{BV}/E_{VK} = 0.36$ [21]. Так как оказалось, что Q_{BVK} для обычных В-звезд порядка нуля, то $Q_{BVK} = (B - V)^{Be} - (B - V)^* - 0.36[(V - K)^{Be} - (V - K)^*]$. Используя соотношения (1) и приняв во внимание то обстоятельство, что величины этих соотношений, стоящие в квадратных скобках, слабо зависят от параметров звезды и окружающей ее газовой оболочки, получим, что Q_{BVK} пропорционален параметру β , то есть мощности излучения газовой оболочки [2].

На рис. 4 представлена зависимость параметра Q_{BVK} от спектрального класса shell и нормальных Ве-звезд. Подчеркивая основной характер приведенного распределения — с переходом от поздних к более ранним

подклассам абсолютное значение параметра Q_{BVK} в среднем увеличивается, можно заключить, что рис. 4 иллюстрирует уже упомянутое выше свойство звезд класса Be: эмиссия более сильна в ранних подклассах.

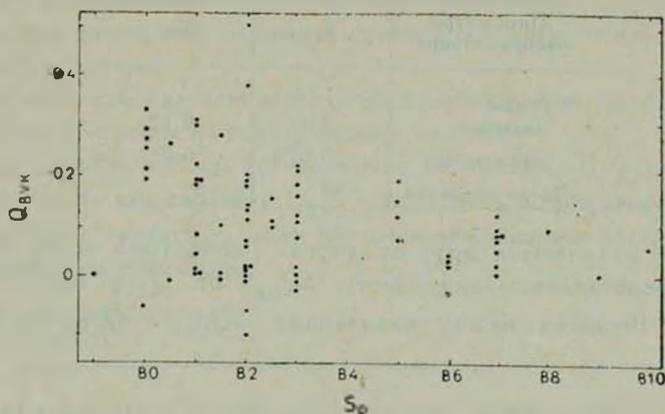


Рис. 4. Зависимость параметра Q_{BVK} от спектрального класса для shell и нормальных Be-звезд.

Из вышесказанного следует, что параметр Q_{BVK} может быть использован как мера мощности излучения газовой оболочки в пашеновском континууме звезд класса Be.

В этой связи рассмотрим характер распределения параметра Q_{BVK} shell и нормальных Be-звезд. Гистограммы указанных распределений и их стандартные статистики приведены на рис. 5 и в табл. 2.

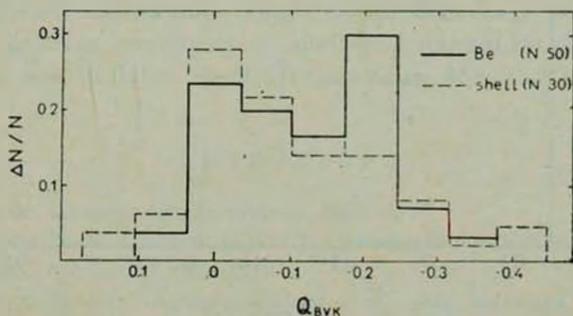


Рис. 5. Гистограмма распределения Q_{BVK} величин для shell и нормальных Be-звезд. N —число объектов.

Идентичность рассмотренных распределений подтверждается соответствующими оценками по критериям F Фишера, t Стьюдента и Колмогорова: при уровне значимости 0.05, $F_{наб.} = 1.55$ меньше $F_{кр.} = 1.70$, $t_{наб.} = 0.394$ меньше $t_{кр.} = 1.664$, $D_{наб.} = 0.11$ меньше $D_{кр.} = 0.314$.

Таким образом, судя по Q_{BVK} , создается впечатление, что shell и нормальные Ве-звезды по мощности излучения в пашеновском кон-

Таблица 2

Параметры распределения	shell	Ве
Среднее значение	-0.11	-0.12
Дисперсия	0.017	0.011
Число объектов	30	50

тинууме не отличаются друг от друга. Рассмотрим тогда рис. 6, на котором представлена зависимость ΔQ_{UBV} от Q_{BVK} . Как видно, для нормальных Ве-звезд между величинами ΔQ_{UBV} и Q_{BVK} наблюдается

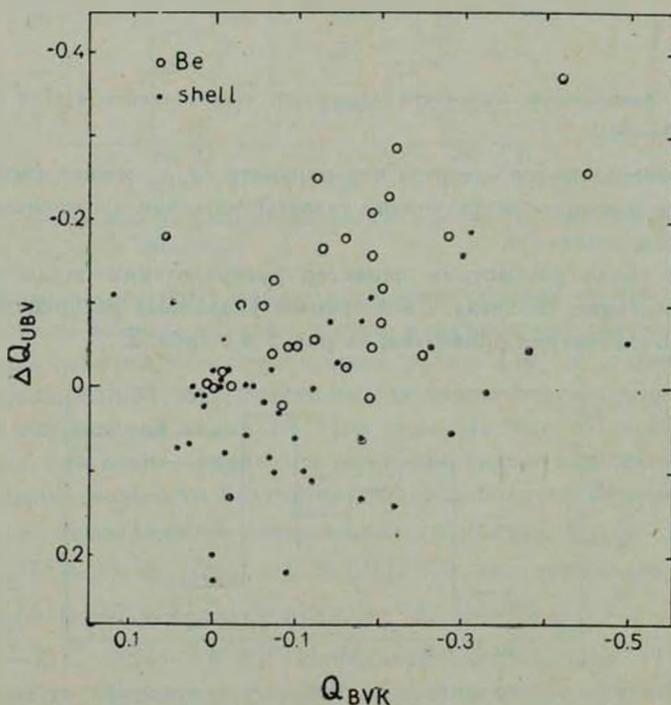


Рис. 6. Зависимость $\Delta Q_{UBV} \sim Q_{BVK}$ для shell и нормальных Ве-звезд.

прямо пропорциональная зависимость. Между тем, shell-звезды по сравнению с нормальными Ве-звездами расположены на диаграмме иначе: при одинаковых значениях параметра Q_{BVK} shell-звезды обнаруживают дефицит ультрафиолетового излучения.

4. *Выводы.* Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В отличие от нормальных Ве-звезд shell-звезды характеризуются дефицитом ультрафиолетового излучения, что, по нашему мнению, обусловлено ощутимой оптической толщиной газовых оболочек shell-звезд в бальмеровском континууме.

2. По мощности излучения оболочек в пашеновском континууме shell и нормальные Ве-звезды не обнаруживают различия.

3. В целом shell-звезды холоднее, чем нормальные Ве-звезды.

4. Оказалось, что параметр Q_{BVK} может быть использован в качестве меры мощности излучения газовых оболочек эмиссионных звезд O, B классов в пашеновском континууме.

Абастуманская астрофизическая
обсерватория

ON RADIATION DEFICIENCY OF SHELL-STARS IN BALMER CONTINUUM

I. N. CHIKHIVADZE

A statistical investigation of distribution of some photometric parameters for the shell and normal stars known at present is made. In terms of the results obtained the conclusion is drawn on the presence of deficiency of the ultraviolet radiation in shell stars. This, in our opinion, is caused by an appreciable optical depth of gaseous envelopes in shell-stars in the Balmer continuum. There is no difference in the radiation power in the gaseous envelopes of shell and normal Be stars. The belief that shell-stars are of later spectral class than normal Be ones is confirmed.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Н. Чхиквадзе, *Астрофизика* (в печати), 1980.
2. Я. Н. Чхиквадзе, А. Д. Арсвадзе, *Бюлл. Абастуманской обс.* (в печати).
3. E. E. Mendoza, *Ap. J.*, 128, 208, 1958.
4. А. А. Боярчук, *Явления нестационарности и звездная эволюция*, под ред. А. А. Боярчука и Ю. Н. Ефремова, Наука, М., 1974.
5. В. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд*, изд. Мокслас, Вильнюс, 1977.
6. D. A. Allen, *M. N.*, 161, 145, 1973.
7. L. R. Wackerling, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 73, PIII, 1970.
8. C. Jaschek et al., *Catalogue and Bibliography of B Type Emission Line Stars*, La Plata, 1971.
9. P. M. Kennedy et al., *MK Spectral Classifications, Published since Jaschek's La Plata Catalogue*, Evanston, 1974.

10. *W. Buscombe*, MK Spectral Classifications, III General Catalogue 1977, Evanston.
11. *A. Slettebak*, IAU Symp. 70, ed. A. Slettebak, 1976.
12. *R. D. Gehrz et al.*, Ap. J., 191, 658, 1974.
13. *M. Blanco et al.*, Publ. US Naval Obs., 21, 1968.
14. *A. К. Митропольский*, Техника статистического исследования, М., 1961.
15. *Н. Г. Видуев, Г. С. Кондра*, Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерения, Недра, М., 1969.
16. *O. Struve*, Ap. J., 95, 194, 1942.
17. *D. Briot*, Astron. Astrophys., 11, 57, 1971.
18. *P. W. Merrill et al.*, 76, 156, 1932.
19. *А. А. Боярчук*, Астрон. ж., 34, 159, 1957.
20. *A. Slettebak*, Ap. J., 110, 498, 1949.
21. *H. L. Johnson*, Nebulae and Interstellar Matter, ed. M. Middlehurst and L. Aller, Univ. Chicago Press, 1968, p. 176.