

УДК 524.386

Абсолютная спектрофотометрия V 2291 Ophiuchi. Затмение 1990 г.

В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, АР Крым, Научный
bella@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 21 сентября 2011 г.

Аннотация. Рассмотрены и сведены в единую систему результаты широкополосных фотометрических наблюдений системы V 2291 Oph, выполненные в течение 1990–1992 гг., построена сводная кривая блеска. На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений V 2291 Oph сделана оценка спектральных классов компонентов и вклада каждого из них в общий блеск системы.

THE ABSOLUTE ENERGY DISTRIBUTION IN THE SPECTRA OF V 2291 OPHIUCHI. THE ECLIPSE OF 1990, by V.I. Burnashev and B.A. Burnasheva. The photoelectric observations during 1990–1992 were used for the construction of the common light curve for the V 2291 Ophiuchi in the photometric UBV-system. The spectral classes and luminosities of the components of this binary system were obtained on the base of energy distribution data.

Ключевые слова: фотометрия, переменные, затменно-двойная звезда

1 Введение

Звездами с составными спектрами принято называть двойные системы, состоящие из холодного гиганта или сверхгиганта спектрального класса *G, K, M* и горячего *B, A* или раннего *F*-карлика. В спектральной области, доступной наземным исследованиям, обе звезды имеют сравнимую яркость и в общем спектре системы присутствуют линии обоих компонентов. Характерной чертой этих двойных систем являются большие периоды, исчисляемые сотнями дней и даже многими годами.

Энн Кэннон была одной из первых, кто привлек внимание к этим необычным объектам (Кэннон и Пикеринг, 1922). Из-за больших трудностей, возникающих при исследовании этих звезд, долгое время им не уделялось должного внимания. В связи с улучшением чувствительности фотоприемников и освоением новых спектральных диапазонов, эти двойные, состоящие из звезд одинакового возраста, находящиеся на разных стадиях эволюции, в последние годы привлекают все большее внимание исследователей.

Списки таких двойных систем, приведенные, например, в статьях Байделмана (1983), Парсонса и Эйка (1998), Жэнисэ и Каркийя (2002), включают около двух сотен сравнительно ярких объектов, доступных для телескопов весьма умеренных размеров. Там же приводятся и соответствующие библиографические ссылки.

Нами предпринято спектрофотометрическое изучение двойной звезды V 2291 Oph на основе наблюдений, выполненных в Крымской обсерватории.

Затменно-двойная звезда V 2291 Oph ($HD169689 = HR6902, G8III - IV+?, V = 5.668$) принадлежит к немногочисленному классу двойных звезд типа ζAur . Период обращения системы $P = 385^d.00$, эксцентриситет орбиты $e = 0.311$, наклонение $i = 87^\circ$, долгота периастра $\omega = 146^\circ$. Большая полуось $a = 2.94 \times 10^{13}$ см, относительные размеры: $R(G) = 33R_\odot, R(B) = 3R_\odot$, где R_\odot – радиус Солнца. Звезда находится на расстоянии 247 ± 40 пс (Гриффин и др., 1995; Кирш и др., 2001).

2 Наблюдения

Абсолютные спектрофотометрические наблюдения V 2291 Oph были проведены в Крымской обсерватории в 1990 году как в течение внезатменной фазы, так и во время затмения. Наблюдения выполнены методом фундаментальной спектрофотометрии, разработанным В.Б. Никоновым (1975) и традиционно применяемым в Крымской астрофизической обсерватории.

В нашем распоряжении для исследуемой звезды имелись и фотометрические данные, полученные на спутнике ГИППАРКОС. Эти сведения были взяты из обширного каталога ГYCHO-2, который содержит данные для 2.5 млн звезд (Хог и др., 2000). Приведенные в этом каталоге значения, относящиеся к исследуемой звезде, редуцированы в систему UBV . Для V 2291 Oph фотометрия ГYCHO-2 выполнена в течение 1990–1992 гг. (JD 2447959–2448936). Кроме того, результаты UBV -фотометрии, средние для четырех затмений, приведены в графическом виде Гриффином и др. (1995).

Оценки блеска звезды в широкополосной фотометрической системе можно получить также и путем перемножения кривых распределения энергии и стандартной кривой реакции системы. UBV -величины, вычисленные таким образом, с помощью кривых реакции системы UBV , опубликованных в монографии Страйжиса (1977), и кривых распределения энергии для V 2291 Oph, полученных в Крымской обсерватории в 1990 г. (JD 2448075–2448179), также вошли в число наблюдательных данных, которые заинтересованный читатель может найти на сайте Крымской обсерватории (Бурнашев, Бурнашева, 2012).

Значения фаз вычислены с помощью элементов: $JD = 2447788.18 + 385^d.00 P$ (Кирш и др., 2001).

На рис. 1 приводится фазовая кривая блеска, построенная по данным каталога ГYCHO-2 и результатам крымских наблюдений. На рис. 2 более подробно показана часть кривой, относящаяся к фазе главного минимума. Рисунок построен по данным, приведенным в статье Гриффина и др. (1995). Кружками показаны значения, вычисленные на основании крымской спектрофотометрии.

При этом следует отметить, что данные о распределении энергии в спектре звезды начинаются с длины волны 3500 \AA , поэтому приводимые на рис. 1 и 2 вычисленные нами величины U могут представлять, таким образом, их верхние значения.

3 Методика спектральной классификации

Для оценки вклада компонентов в общее излучение системы существуют различные методы, применяющие как спектры высокой дисперсии, так и широкополосные фотометрические измерения. Расширение доступного для исследований спектрального диапазона от инфракрасной области до области заатмосферного ультрафиолета в последние годы значительно облегчило ситуацию. Стало возможным не только определить вклад компонентов в общее излучение конкретной двойной системы, но и оценивать влияние межзвездного поглощения. Результаты применения разных методов для изучения двойной системы V 2291 Oph суммированы в табл. 1.

Методика оценки спектральных классов на основе широкополосной фотометрии была разработана Бангом (1958). Гриффин и Гриффин (1986) детально описали метод исследования звезд с составными спектрами на основе спектров высокой дисперсии. В результате применения этого метода можно определять эквивалентные ширины сильных линий и относительные лучевые скорости компонентов, получая тем самым их массы.

Бааде (1998), Парсонс и Эйк (1998) использовали эту методику при наблюдениях в области

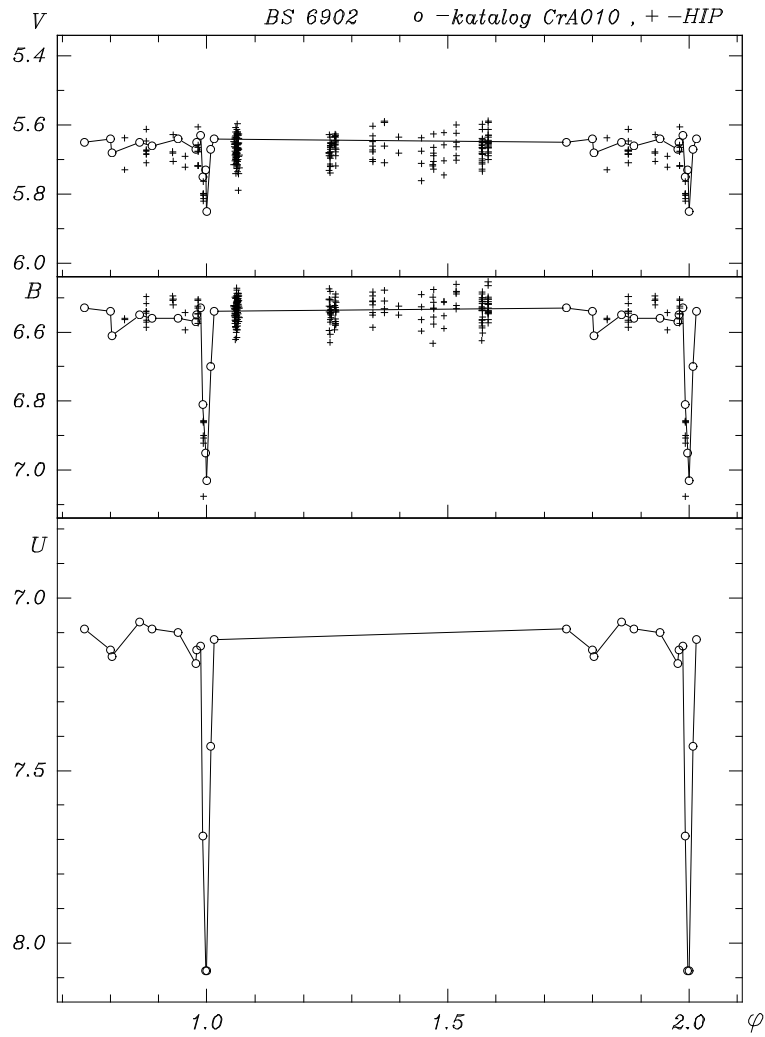


Рис. 1. Сводная фазовая кривая блеска V 2291 Орф. Кресты – данные ГИППАРКОС (Хог и др., 2000), кружки – крымские наблюдения

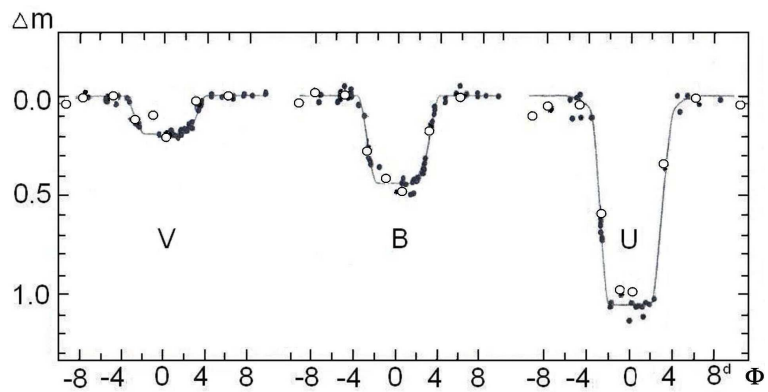


Рис. 2. Изменение блеска звезды вблизи главного минимума. Точки – данные Гриффина и др. (1995), кружки – крымские наблюдения

Таблица 1. Спектральная классификация двойной системы V 2291 Oph

Сп. класс	Лит. ссылка	E_{BV}	ΔV
G8IV	Кухи, 1963	–	–
G8III+A0	Марковиц, 1969	–	–
F9V+A	Хендри, 1978	–	–
G4 II-III + B8 V	Шмидтке, 1983	–	–
A0IV+...	Грей и Гаррисон, 1987	–	–
G9II+ B 9V	Хюнш и Реймерс, 1993	0.02 ± 0.05	–
G9 Ib + B 8-9 V	Гриффин и др., 1995	0.18	1.78
G8 + B7	Парсонс и Эйк, 1998	0.18:	2:
G9 II + B9V	Жэнисэ и Каркийя, 2002	0.15	1.8
G9 II + B5V	Бурнашев, Бурнашева, 2011	0.16	2.55
G9 II + B6V		0.21	2.3
G9 II + B7V		0.15	1.65

вакуумного ультрафиолета. Несколько модернизировали метод Жэнисэ и Каркийя (2002), которые для классификации позднего компонента применили наблюдения в ближней инфракрасной области (8370–8870 Å).

В 80-х годах нами была предложена методика уточнения спектральных классов и светимостей компонентов неразделенных двойных систем на основе абсолютных спектрофотометрических данных. Подобно методу Банга (1958), принимая, что распределение энергии в спектре главного компонента не испытывает больших изменений, можно, вычитая спектр главного компонента из суммарного потока, уточнить вклад затмеваемой звезды в общее излучение системы для каждой длины волны, т. е. можно уточнить спектральный класс вторичного компонента.

Особенность результатов широкополосной фотометрии заключается в том, что они представляют излучение двойной системы, осредняемое по широкой спектральной области. Абсолютные спектрофотометрические измерения, выполняемые с обычным разрешением до 50 Å, до некоторой степени также принимают во внимание и интенсивность линий и полос, а также позволяют более точно учитывать межзвездное поглощение (Бурнашев, 1983). Для учета влияния межзвездного поглощения была применена средняя кривая межзвездной экстинкции, опубликованная Карделли и др. (1989).

4 Обсуждение результатов

Результаты спектральной классификации исследуемой двойной системы, проведенные разными авторами, отображены в табл. 1. Первая колонка таблицы, в которой приводятся спектральные классы компонентов, иллюстрирует современную точность спектральной классификации исследуемого типа звезд. Во второй дана соответствующая литературная ссылка. В третьей колонке приводится оценка межзвездного покраснения $E(B - V)$, в четвертой – значение разности блеска компонентов ΔV .

На рис. 3 показаны кривые распределения энергии в спектре исследуемой звезды, исправленные за межзвездное поглощение. Средняя кривая межзвездного поглощения взята по данным Карделли и др. (1989). Принятое значение поглощения в видимой области $A(V) = 0^m.46$. Показано также распределение энергии в спектре стандартной звезды α Leo(B7V) = HR3982.

Как известно, наиболее заметная особенность на кривой межзвездного поглощения находится около λ 2200 Å. Как видно из рисунка, даже после того как в наблюдаемые значения для исследуемой звезды внесена соответствующая поправка, в ее спектре наблюдается еще довольно заметная депрессия в области λ 2200 Å.

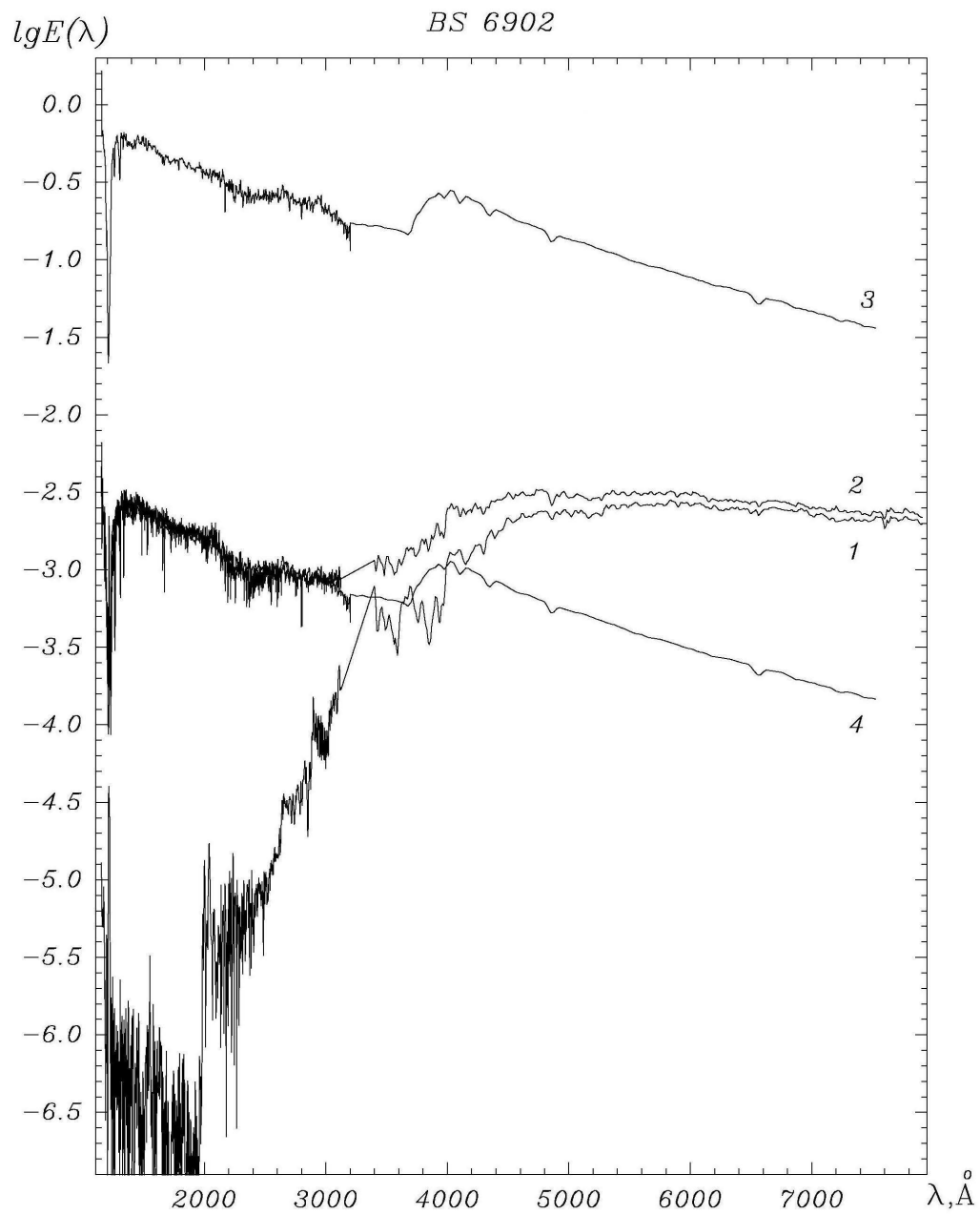


Рис. 3. Распределение энергии в спектре V 2291 Ori в максимуме и минимуме блеска (кривые 1 и 2).
3 – спектр α Leo. 4 – принятое распределение энергии в спектре раннего компонента

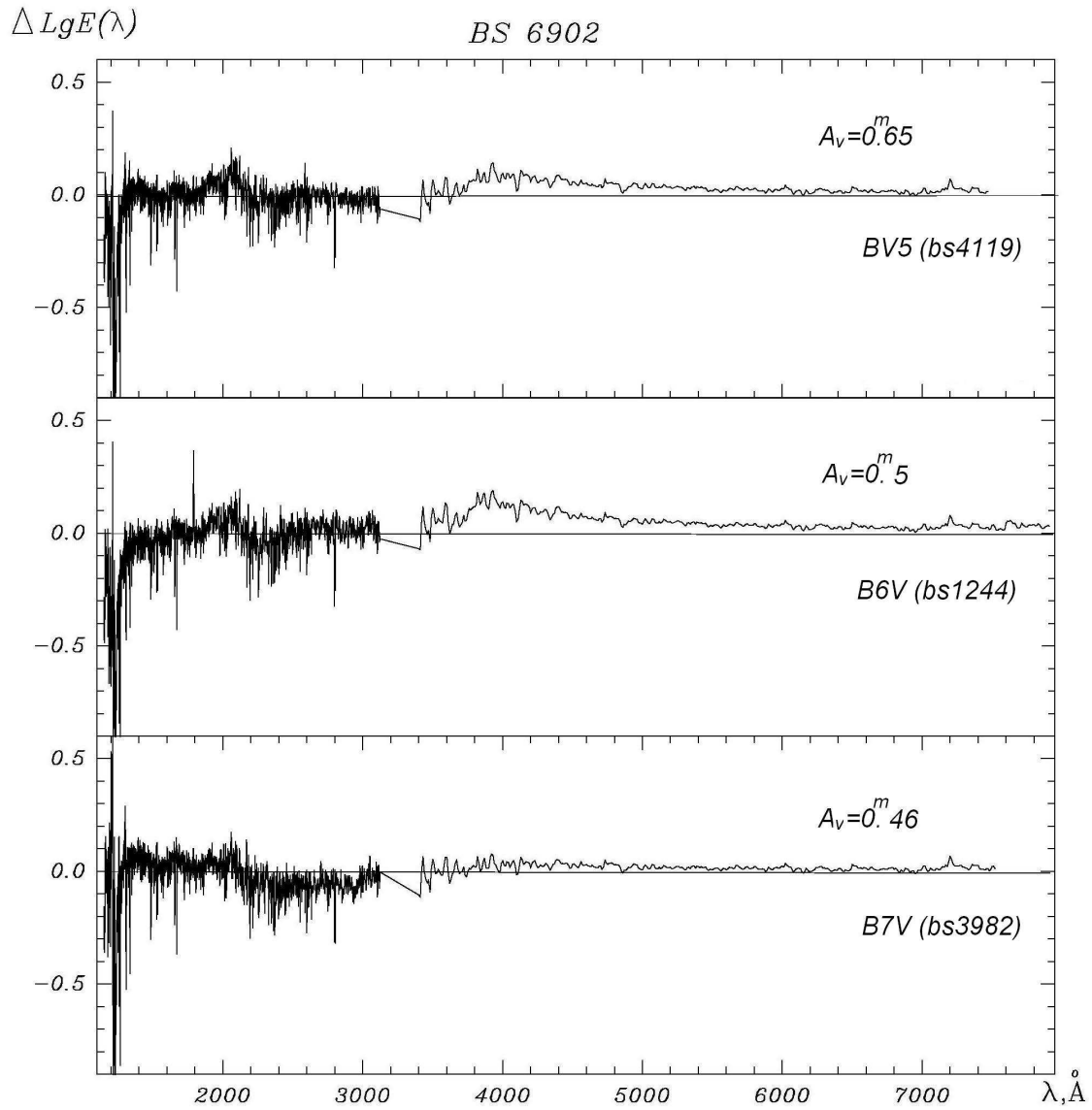


Рис. 4. Отклонение наблюдаемого спектра V 2291 Ori в максимуме блеска от вычисленного для принятых значений межзвездного поглощения $A(V) = 0^m.45 - 0^m.65$. Распределение энергии в спектре вторичного компонента соответствует спектрам некоторых стандартов ранних классов $B5V - B7V$

Следует отметить, что на спектре отчетливо заметна еще одна депрессия около λ 2400–2500 Å, обусловленная сгущением нескольких десятков резонансных линий, происходящая из-за дополнительного поглощения в околозвездном облаке (Гурзадян, Рустамбекова, 1980).

При построении кривой “1”, представляющей распределение энергии в спектре звезды во внезатменном состоянии, предполагалось, что вне минимума блеск звезды не испытывает сильных изменений: данные IUE получены 11 июля 1987 г. (фаза 0.923), а в видимой области кривая получена 2 июля 1990 г. (фаза 0.746).

Кривая “2” представляет среднее распределение энергии в спектре звезды вблизи середины главного минимума: данные IUE получены 28 октября 1988 г. (фаза 0.997), наземные наблюдения выполнены 8 октября 1990 г. (фаза 0.998).

Кривая “3” соответствует распределению энергии в спектре звезды α Leo(B7V) = HR3982. Кривая “4” – та же самая кривая, совмещенная с кривой распределения энергии исследуемой звезды в области вакуумного ультрафиолета.

Как показало сравнение со спектрами других стандартов, распределение энергии в спектре вторичного компонента достаточно удовлетворительно может быть представлено спектроэнергетическими кривыми, соответствующими звездам спектральных классов от B5V до B7V.

Рисунок 4 иллюстрирует величину отклонения вычисленного распределения энергии в спектре двойной звезды от наблюдаемого в зависимости от длины волны. Для вторичного компонента приняты кривые распределения энергии, характерные для различных звезд, обладающих пренебрежительно малым межзвездным поглощением: $35Eri(B5V) = HR1244$, β Sex(B6V) = HR4119, α Leo(B7V) = HR3982.

На рисунке приведены значения разностей монохроматических освещенностей для V 2291 Ori и комбинированного спектра:

$$\Delta(\log E(\lambda) = \log E_{max}(\lambda) - \log(E_{min}(\lambda) + E_{st}(\lambda)), \quad (1)$$

где $E_{max}(\lambda)$ и $E_{min}(\lambda)$ обозначают данные для звезды в максимуме и минимуме блеска, $E_{st}(\lambda)$ – распределение энергии в спектре вторичного компонента.

Распределение энергии в спектре звезды приблизительно соответствует общепринятому для звезд спектральных классов от B5V до B7V. Наилучшей, вероятно, можно считать комбинацию G9II + B7V.

Тем не менее видны расхождения в ультрафиолетовой области, далеко выходящие за пределы ошибок измерений. Известно, что в спектре горячего компонента отмечены сильные линии кремния, что дало основание заподозрить принадлежность вторичного компонента к классу пекулярных A_p -звезд (Жэнисэ и Каркийя, 2002). Между тем известно, что распределение энергии для A_p -звезд в ультрафиолетовой области заметно отличается от такового для нормальных звезд главной последовательности (Лекрон и др., 1974; Хохлова, 1983). Возможно, что часть наблюдаемых расхождений вызвана именно этой причиной.

5 Заключение

Таким образом, критическое рассмотрение фотоэлектрических наблюдений переменной звезды V2291 Ori позволило построить сводную кривую блеска за период с 1990 по 1992 гг. На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений во время затмения 1990 г., с привлечением результатов измерений, выполненных в области заатмосферного ультрафиолета на спутнике IUE, оценены спектральные классы компонентов двойной. Распределение энергии в спектре второго компонента приблизительно соответствует принятому для звезд B5V – B7V. Наилучшей для исследуемой системы можно считать комбинацию G9II + B7V. Оценено влияние межзвездного поглощения: $A(V) = 0.^m46 - 0.^m65$ (или $E(B - V) = 0.^m15 - 0.^m21$).

6 Благодарности

В работе применены данные базы INES (IUE Newly Extracted Spectra), за что авторы глубоко благодарны ее создателям. При написании статьи авторы часто пользовались ценными советами сотрудников отдела физики звезд и галактик Ю.С. Ефимова и А.А. Шляпникова, за что выражают им чувство искренней признательности.

Литература

- Бааде (Baade R.) // UV Astrophysics beyond the IUE Final Archive. / Eds Wamstecker W., Riestra G., Harris R. Noordwijk. The Netherlands: ESA SP-413. P. 325.
- Банг (Bahng J.D.R.) // Astrophys. J. 1958. V. 128. P. 572.
- Байделман (Bidelman W.R.) // Some problems of composite spectra, in: "The MK process and stellar classification". / Ed. Garrison R.F. David Dunlap Obs. Univ. of Toronto. 1983. P. 45.
- Бурнашев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 66. С. 162.
- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2012. (в печати).
- Грей и Гаррисон (Gray D.F., Garrison R.F.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1987. V. 65. P. 581.
- Гурзадян и Рустамбекова (Gurzadyan G.A., Rustambekova S.S.) // Astrophys. Space Sci. 1980. V. 69. P. 269.
- Гриффин и Гриффин (Griffin R., Griffin R.) // J. Astrophys. Astron. 1986. V. 7. P. 195.
- Гриффин и др. (Griffin R.E.M., Marshall K.P., Griffin R.F., Schroder K.-P.) // Astron. Astrophys. 1995. V. 301. P. 217.
- Жэнисэ и Каркийя (Ginestet N., Carquillat J.M.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 2002. V. 143. P. 513.
- Кирш и др. (Kirsch T., Baade R., Reimers D.) // Astron. Astrophys. 2001. V. 379. P. 925.
- Карделли и др. (Cardelli J.A., Clayton G.C., Mathis J.S.) // Astrophys. J. 1989. V. 345. P. 245.
- Кухи (Kuhi L.V.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1963. V. 75. P. 448.
- Кэннон и Пикеринг (Cannon A.J., Pickering E.C.) // Ann. Harv. Coll. Obs. 1922. V. 97. P. 169.
- Лекрон и др. (Leckrone D.S., Flower J.W., Adelman S.J.) // Astron. Astrophys. 1974. V. 32. P. 237.
- Марковиц (Markowitz A.H.) // Ph. D. Thesis. 1969.
- Парсонс и Эйк (Parsons S.B., Ake T.B.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1998. V. 119. P. 83.
- Никонов В.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1975. Т. 54. С. 3.
- Страйжис В. // Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Моклас. 1977.
- Хендри (Hendry E.M.) // Astron. J. 1978. V. 83. P. 615.
- Хог и др. (Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., et al.) // Astron. Astrophys. 2000. V. 355. P. L27.
- Хохлова В.Л. // "Магнитные звезды" в кн. Итоги науки и техники. (сер. "Астрономия"). 1983. Т. 24. С. 233.
- Хюнс, Реймерс (Hünsch M., Reimers D.) // Astron. Astrophys. 1993. V. 276. P. 161.
- Шмидтке (Schmidtke P.C.) // Lowell Obs. Bull. 1983. V. 9. № 167. P. 228. (IAU Coll. № 62. Current Techniques in Double and Multiple Star Research. Flagstaff. Arizona.)