

УДК 524.386

Абсолютная спектрофотометрия 32 Лебеда. Затмения 1987 и 1990 гг.

В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева

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

Поступила в редакцию 7 октября 2010 г.

Аннотация. Рассмотрены и сведены в единую систему результаты широкополосных фотометрических наблюдений системы 32 Лебеда, выполненные в течение 1953–1994 гг., построена сводная кривая блеска. Помимо изменений, связанных с орбитальным периодом, блеск звезды изменяется с характерными временами от нескольких дней до нескольких десятков лет.

На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений системы 32 Лебеда сделана оценка спектральных классов компонентов и вклада каждого из них в общий блеск системы. Предполагая, что депрессия в районе λ 3650 Å вызвана непрерывным поглощением водорода, оценено число атомов водорода во втором состоянии на луче зрения.

ABSOLUTE ENERGY DISTRIBUTION IN THE SPECTRA OF 32 CYGNI. ECLIPSES OF 1987 AND 1990, *by V.I. Burnashev and B.A. Burnasheva*. The photoelectric observations during 1953–1994 were used for the construction of the summary light curve for 32 Cygni in the photometric *UBV*-system. On the base of energy distribution data spectral classes and luminosities of the components of this binary system were obtained. Column density of H I during several ingresses and egresses was estimated, supposing that the depression at λ 3650 Å was caused by hydrogen absorption.

Ключевые слова: фотометрия, переменные, затменно-двойная звезда

Звездами с составными спектрами принято называть объекты, включающие холодный гигант или сверхгигант спектрального класса *G*, *K*, *M* и горячий карлик спектрального класса *B*, *A* или раннего *F*. В спектральной области, доступной наземным исследованиям, обе звезды имеют сравнимую яркость и в общем спектре системы присутствуют линии обоих компонентов. Эти двойные системы, состоящие из звезд одинакового возраста, находящихся на разных стадиях эволюции, привлекают все большее внимание исследователей.

Появившиеся в печати в последнее время списки таких звезд, приведенные, например, в статьях Жэнистэ и Каркийя (2002), Парсонса и Эйка (1998), включают около двух сотен сравнительно ярких объектов, доступных для телескопов весьма умеренных размеров. Там же приводятся и соответствующие библиографические ссылки.

Характерной чертой этих двойных систем являются большие периоды, исчисляемые сотнями дней и даже многими годами.

Нами сведены в единый ряд и проанализированы опубликованные *UBV*-наблюдения двойной звезды 32 Лебеда, а также предпринято спектрофотометрическое изучение этой системы на основе наблюдений, выполненных в Крымской обсерватории на протяжении 1978–1994 гг.

1 Фотоэлектрическая фотометрия

Затменно-двойная звезда 32 Лебеда ($V1488Cyg = HD192909 = HR7751, K3Ib+B, V = 4.0$) принадлежит к немногочисленному классу двойных звезд типа Дзета Возничего, состоящих из позднего сверхгиганта и горячего спутника. Период обращения системы составляет 3 года 1 месяц и 23 дня. Первые удачные фотоэлектрические наблюдения этой затменной звезды выполнила Р.А. Боцула в 1952 году. Впоследствии ею был получен наиболее длительный ряд фотометрических наблюдений, покрывающий почти 4 периода. С тех пор эта звезда, ввиду ее довольно большой яркости и благоприятного расположения на небе, позволяющего проводить наблюдения в течение большей части года, неоднократно привлекала внимание многих других фотометристов. Нами собраны все доступные литературные источники, в которых опубликованы результаты фотоэлектрических исследований 32 Лебеда с 1952 по 2007 годы, в том числе и во время международной кооперативной программы 1971–1972 гг.

Отметим особенности, которые встретились при анализе фотометрических наблюдений 32 Лебеда. Во-первых, большая часть их проводилась вблизи фаз главного минимума, во-вторых, оригинальные результаты, даже если и относились к одной и той же фотометрической системе, различались порой до 0^m2 звездных величин, что почти на порядок превышает обычные ошибки фотоэлектрической фотометрии. По-видимому, подобные систематические расхождения обусловлены различием эффективных длин волн инструментальных систем. Поскольку исследуемая звезда имеет необычный составной спектр, то ясно, что проведение фотометрических наблюдений требует особой тщательности как при учете атмосферной экстинкции, так и при последующей редукции полученных значений в стандартную широкополосную систему. Особенно это важно для полос U и B , эффективные длины которых попадают на спектральную область, затрагивающую бальмеровский скачок, причем неодинаковым образом во время фаз, соответствующих затмению.

Сводка имевшихся в нашем распоряжении фотоэлектрических данных приведена в таблице 1. Из этого массива для дальнейшего анализа были отобраны только наблюдения, выполненные в системах, близких к UBV . Не были использованы результаты наблюдений, значительно отклоняющиеся от данных, приводимых другими авторами, а также наблюдения, выполненные в узкополосных системах, за исключением тех, у которых эффективные длины волн не слишком отличались от эффективных длин волн системы UBV . Большая часть наблюдений выполнена дифференциальным способом. Мы сочли необходимым также указать название звезды сравнения, использованной данным автором. Как видно, разными авторами применялся целый ряд звезд сравнения, что еще более затрудняет редукции.

В первой колонке указан соответствующий интервал наблюдений, во второй – примененная фотометрическая система, в скобках приведены значения блеска, взятые для звезды сравнения. В третьей колонке указано число оценок блеска, взятых нами для построения сводной кривой. Отметим, что зачастую, если в одну дату данным автором было сделано несколько наблюдений, для дальнейшего анализа принималось среднее значение для данной ночи. В четвертой колонке приводится соответствующая литературная ссылка и указана звезда сравнения.

Некоторые сведения о примененных разными авторами звездах сравнения, позаимствованные из системы данных SIMBAD, вместе с фотометрическими данными из однородного UBV -каталога Мермиллио (1991), приводятся в таблице 2, где указаны: номера по каталогу HD , координаты на 2000 год, а также средние значения блеска и цвета.

Отметим попутно, что иногда некоторыми авторами в качестве контрольной звезды применялась затменная переменная 31 Лебеда, блеск которой считался мало меняющимся в течение периода наблюдений. Эта звезда также внесена в таблицу.

Как видно, звезды сравнения разбросаны на довольно большой площади (расстояние между крайними из них составляет почти два десятка градусов). Кроме того, некоторые из них заподозрены в переменности блеска (26 и 30 Лебеда). Возможно, что наиболее приемлемой в качестве звезды сравнения может служить $HD 192985$, несмотря на то, что ее блеск значительно слабее, чем блеск переменной. Постоянство блеска звезды $HD 192985$ на протяжении почти трех лет проверено Итоном и др. (2008).

Таблица 1. Фотоэлектрические наблюдения 32 Лебеда

Время наблюдений JD2400000+	Фотометрическая система. (Принятая величина звезды сравнения)	Число наблю- дений	Ссылка, звезда сравнения.
34361.1638–37456.3903	$m_v(4.63), m_b(4.61)$	93	Боцула, 1962, 30 Cyg
36440.2890–38525.3716	$m_v(4.69), m_b(4.56)$	56	Боцула, 1966, 30 Cyg
36639.616–36723.438	V, B	16	Ларссон-Леандер, 1962
36660.44–36685.44	V, B	13	Чандра, Панде, 1960
36636.67–36706.44	$m_{5570}(5.06), m_{4040}(5.93)$	15	Йоханссен и др., 1970, 26Cyg
37761.61–37879.47	$V(5.06), B(6.18), U(7.20),$ $m_{5520}, m_{4970}, m_{4098}, m_{4440}, m_{3915}, m_{3475}$	23	
		17	
38882.558–38999.414	$m_{5499}(5.06), m_{3533}(7.21), m_{4982}, m_{4515},$ $m_{4249}, m_{4062}, m_{3942}, m_{3557}(7.203)$	17	Йоханссен и др., 1970, 26Cyg
37566.310–37783.527	$m_v(5.06), m_b(6.18)$	46	Линдблад, Пиппинг, 1963, 26 Cyg
37808.511–37870.550	$m_v(5.03), m_b(6.20), m_u(7.25)$	17	Херцег, Шмидт, 1963, 26 Cyg
40068.49–40395.47	V, B, U	19	Честер, 1969
41107.917–42639.846	V, m_{44}, m_{35}	93	Хилл и др., 1980
40073.11–40171.93	$V(5.06), B(6.15), U(7.20)$	28	Сайто и др., 1972, 26 Cyg
41223.88–41289.89	$V(5.06), B(6.14), U(7.20)$	43	Сайто и др., 1972, 26 Cyg
41239.8991–41288.9064	$m_{3552}, m_{4243}, m_{5012}$	36	Сато, Сайто, 1973, 26 Cyg
41240.3388–41314.2693	$V(5.06), B(6.18), U(7.27)$	12	Гелих и др., 1972, 26 Cyg
46942.429–47029.354	$V, B, U(7.273)$	11	Бем, 1987
46983.482–47005.388	$V(5.89), B(6.10), U(6.13)$	10	Долзан, 1987, HD 192985
38187.9358–38224.8328	V, B, U	3	Джонсон и др., 1966
37264.3590–37661.3625	$V(5.06), B(6.18), U(7.20)$	14	Кви, ван-Гендерен, 1962, 26 Cyg
41237.5427–41988.6348	$m_{5000}, m_{4240}, m_{3530}(7.35)$	47	Блумер, Вуд, 1974, 26 Cyg
41242.322–41277.308	V, B	6(43)	Крайнер, Винарски, 1972, HD 195774
41239.277–41276.212	$m_{5000}, m_{4240}, m_{3500}$	16(108)	Магалашвили, Кумсишвили, 1974, 30 Cyg, 26 Cyg
41227.76–41280.60	$V, B, U, m_{3448}, m_{3571}, m_{4167}, m_{4566}$	6	Гриффитс, Стенсел, 1972, ρ Cyg
41241.738–41260.695	$m_{5000}, m_{4240}, m_{3520}$	5	Райт, 1972, 26 Cyg
41237.718–42028.573	$m_{6575}, m_{6565}, m_{4870}, m_{4863}$	39	Гинан, Мак-Кук, 1974, 30 Cyg
41237.71919–43044.61491	m_{6575}, m_{4870}	69	Гинан, Мак-Кук, 1979, 30 Cyg
47861.66911–49023.53594	V, B	143	“ГИППАРКОС”, Хог и др., 2000
52772.8279–54236.9224	V, B	680	Итон и др., 2008, HD 192985
43687.50–49665.18	V, B, U	52	Бурнашев, Бурнашева, 2009

Таблица 2. Список звезд сравнения

HD	name	Sp	V	B	U	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$
185395	θ Cyg	F4 V	4.475 ± 0.011	$+0.382 \pm 0.009$	-0.029 ± 0.007	19 36 27	+501316
190147	26 Cyg	K1Iab	5.058 ± 0.019	$+1.122 \pm 0.011$	$+1.023 \pm 0.023$	20 01 22	+500617
190781	HR 7684	A2IV	6.160	+0.040	+0.040	20 04 29	+481347
192514	30 Cyg	A5III _n	4.820 ± 0.008	$+0.100 \pm 0.006$	$+0.207 \pm 0.037$	20 13 18	+464856
192895		F5V	5.892 ± 0.027	$+0.401 \pm 0.021$	-0.050 ± 0.075	20 16 01	+453446
195506		K2III	6.423 ± 0.013	$+1.137 \pm 0.014$	$+1.065 \pm 0.022$	20 30 00	+455543
205435	ρ Cyg	G5III	4.007 ± 0.012	$+0.887 \pm 0.005$	$+0.551 \pm 0.005$	21 33 59	+453531
192577	31 Cyg		3.799 ± 0.012	$+1.269 \pm 0.017$	-0.405 ± 0.028	20 13 38	+464429

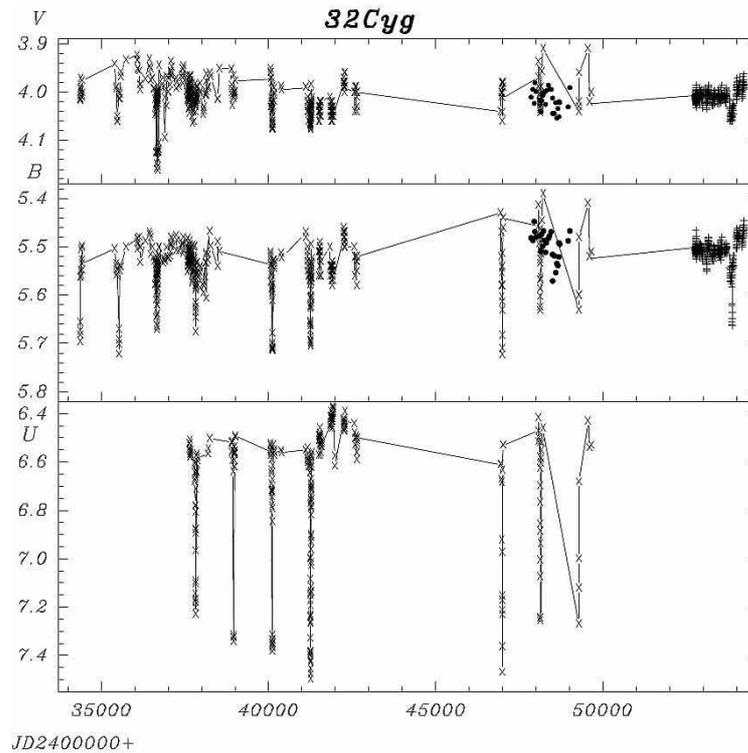


Рис. 1. Сводная кривая блеска 32 Лебеда

Значительная часть опубликованных наблюдений получена Р.А. Боцула (1962, 1966). В качестве звезды сравнения была взята 30 Лебеда. Большая разность в цвете переменной и звезды сравнения может значительно затруднить редукиции и ухудшить точность. Эта же звезда сравнения была взята и для переменной 31 Лебеда. Сравнение двух рядов оценок блеска для 31 и 32 Лебеда привело к выводу, что примерно в середине 1961 года на обсерватории им. Энгельгардта произошло изменение инструментальной фотометрической системы. Общеизвестно, что изменение системы может быть вызвано заменой фильтров или фотоприемника или же просто изменением положения изображения входного зрачка на фотокатод. Возможно также, что причиной изменений стала переменность принятой звезды сравнения 30 Лебеда. Боцула Р.А. отметила, что блеск этой звезды может изменяться в пределах нескольких сотых звездной величины с характерным временем порядка нескольких десятков дней (Боцула, 1970). Поэтому для звезды сравнения приняты следующие значения блеска: $m_v = 4^m63$; $m_b = 4^m61$ с начала наблюдений до середины 1961 года, $m_v = 4^m69$; $m_b = 4^m56$ после JD 2437456.

Отобранные для построения средней кривой данные приводились к некоторой средней фотометрической системе, задаваемой результатами наблюдений нескольких авторов, наилучшим образом согласующихся между собой. Наибольший вес придавался тем наблюдениям, которые были выполнены в течение нескольких орбитальных циклов.

Приводимые авторами результаты большей частью уже редуцированы в систему UBV . Тем не менее сопоставление кривых блеска, полученных в близкие моменты времени, обнаруживает иногда между ними систематическую разность (до $\Delta V = 0^m04$, до $\Delta B = 0^m25$ и до 0^m07 – в полосе U). Считая, что эти различия вызваны ошибками в нуль-пунктах при редукициях оригинальных наблюдений в стандартную систему, для некоторых рядов, показывавших систематические различия, были приняты небольшие поправки.

В полосе V за основу взяты результаты наблюдений Йоханссена и др. (1970), Линдблада и

Пиппинга (1964), Честера (1969), Хилла и др. (1980), Сайто и др. (1972), Гелиха и др. (1972), Джонсона и др. (1966), Кви и ван Гендерена (1962). В другие данные внесены небольшие поправки: $\Delta V = +0^m015$ (Линдبلاد и Пиппинг, 1964), -0^m11 (Чандра и Панде, 1960), -0^m03 (Херцег и Шмидт, 1963), $+0^m04$ (Бем, 1987), $+0^m02$ (Долзан, 1987).

Для полосы B за основу приняты результаты фотометрии Йоханссена и др. (1970), выполненные в 1962 году, а также данные Линдبلاد и Пиппинга (1964), Честера (1969), Гелиха и др. (1972), Джонсона и др. (1966), Кви и ван Гендерена (1962). Внесены поправки в наблюдения Ларссона-Леандера (1962), ($\Delta B = +0^m004$); Йоханссена и др. (1970), (-0^m11); Херцега и Шмидта (1963), ($+0^m25$); Хилла и др. (1980), ($+0^m02$; $+0^m15$); Сайто и др. (1972), (-0^m03); Сайто и др. (1972), (-0^m04); Бема (1987), (-0^m07); Долзана (1987), (-0^m19).

Для полосы U за основу приняты данные Йоханссена и др. (1970), Честера (1969), Сайто и др. (1972), Джонсона и др. (1966), Кви и ван Гендерена (1962); в другие данные наблюдений внесены следующие поправки: $\Delta U = +0^m05$ (Херцег и Шмидт, 1963); $+0^m07$ (Гелих и др., 1972); $+0^m07$ (Бем, 1987; Долзан, 1987). Несмотря на значительную разность, $\Delta U = 0^m40$, рассмотрены и наблюдения Хилла и др. (1980), поскольку в этой полосе они представляют единственный ряд, перекрывающий целый орбитальный цикл.

UBV -величины, вычисленные нами путем перемножения кривых реакции системы UBV , опубликованных в монографии Страйжиса (1977), и кривых распределения энергии для 32 Лебеда, полученных в Крымской обсерватории в 1978–1994 гг., также вошли в число основных наблюдательных данных, которые заинтересованный читатель может найти на сайте Крымской обсерватории (Бурнашев, Бурнашева, 2009). При этом следует отметить, что данные о распределении энергии в спектре звезды, полученные с 1987 по 1994 гг., начинаются с длины волны 3500 Å, поэтому приводимые на рисунке 2 значения величины U могут представлять, таким образом, их верхние значения.

Достаточно однородный и плотный ряд наблюдений Итона и др. (2008), полученный с 12 мая 2003 г. по 17 мая 2007 г., то есть в течение одного орбитального периода, содержит число данных, сравнимое со всеми данными, полученными за полвека другими авторами. Чтобы избежать смещенных оценок в спектре колебаний, эти данные не вошли в сводную кривую для периодограммного анализа, а были применены нами для контроля.

Оценки блеска, полученные на спутнике “ГИППАРКОС”, отмечены на рисунке 1 кружками. Они также не вошли в общий массив, поскольку значительно отличаются от других наблюдений.

Довольно длинный ряд наблюдений, имевшийся в нашем распоряжении, дал возможность уточнить значение периода. При вычислении фотометрической фазы периода нами были приняты следующие элементы кривой блеска: $\text{MinI} = \text{JD } 2441256.96 + 1147^d.22$, то есть при том же значении начальной фазы длительность периода получилась несколько короче приведенной в Общем каталоге переменных звезд ($P = 1147^d.4$), однако оказалась близкой к значению, опубликованному Шредером (1983): $P = 1147^d.15$.

Возможно, что вне затмений блеск звезды испытывает изменения. Поскольку наблюдения, как правило, проводились вблизи фазы главного минимума, то вряд ли можно ожидать, что частотный анализ такого ряда, состоящего из разнородных и очень неравномерно распределенных данных, сможет сделать какие-то определенные выводы об изменении внезатменного блеска системы. Тем не менее такой анализ был выполнен и построена периодограмма для внезатменных UBV -наблюдений, полученных в 1953–1990 гг.

Несмотря на значительную зашумленность, наблюдения во всех трех фильтрах указывают на возможные периодические компоненты в изменении блеска с характерными временами от 2500 до 7 дней. Отчетливо прослеживается циклическая переменность $P = 360$ дней, отражающая годовую скважность наблюдений. Отметим также, что и 7-дневный период не противоречит значению периода в 3–6 дней, полученному из измерений лучевой скорости K -компонента, выполненных во время затмения 1971 года Бизиаичи и др. (1974). Изменения блеска за время около нескольких часов зарегистрированы Сайто и др. (1972). Известно, что подобные короткопериодические изменения блеска типичны и для других сверхгигантов. С другой стороны, на рисунке 2, на котором приведены результаты фотометрии, относящиеся к фазе главного минимума, можно видеть систематические различия между кривыми блеска, определенными в разные годы.

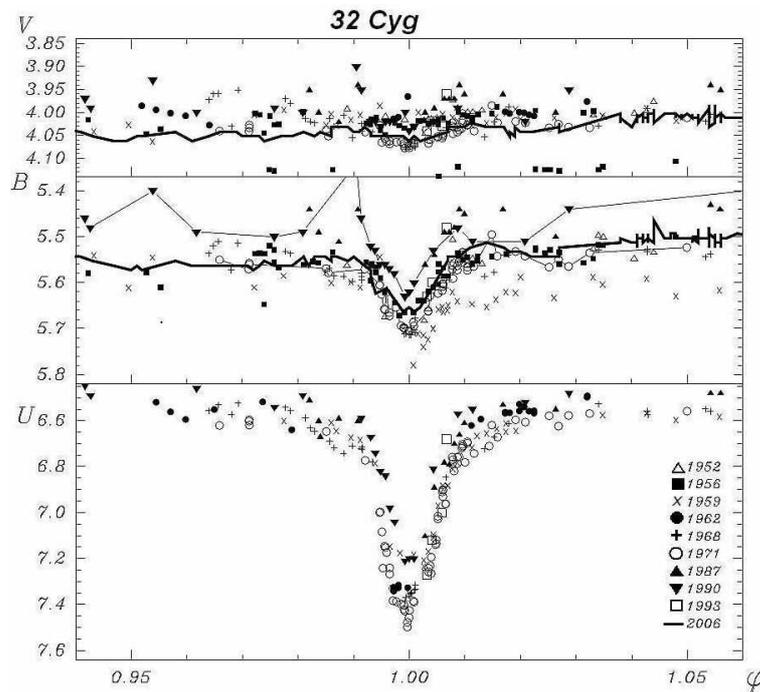


Рис. 2. Изменение блеска звезды вблизи главного минимума

Помимо упомянутых систематических различий в кривых блеска, полученных вблизи главного минимума, при внимательном рассмотрении рисунка 2 обращает на себя внимание также следующая деталь: “горб” вблизи фаз $\pm 0.012 - 0.014$. Возможно, что эта деталь, обусловленная влиянием околосредной материи на блеск В-компонента, свидетельствует или о газовом кольце вокруг К-сверхгиганта, или о выбросах типа протуберанцев с его поверхности. Отметим, что в свое время такого рода поглощающее облако было зарегистрировано по наблюдениям в далекой ультрафиолетовой области (Шредер, 1983).

Таким образом, имеющиеся в литературе широкополосные фотометрические данные для системы 32 Лебеда свидетельствуют об изменении блеска системы вне затмений с характерными временами от нескольких часов до нескольких десятков лет.

Проведенный Итоном и др. (2008) анализ переменности блеска и лучевых скоростей 32 Лебеда также показал наличие нескольких возможных колебаний с периодами: 109, 153, 234, 314, 443, 721 и, возможно, 1483 дня. Периодограммный анализ, выполненный нами, также показал существование некоторых периодичностей на сводной кривой, например, $P = 250-270, 150, 120$ дней, однако окончательный результат может быть получен только на основании достаточно плотного и длительного ряда, перекрывающего несколько орбитальных циклов.

2 Спектрофотометрическое исследование

Абсолютные спектрофотометрические наблюдения 32 Лебеда были проведены в Крымской обсерватории в 1977 году, в течение внезатменной фазы, а также во время затмений 1987 и 1990 гг. Наблюдения выполнены методом фундаментальной спектрофотометрии, разработанным В.Б. Никоновым (1975) и традиционно применяемым в Крымской астрофизической обсерватории.

Средние кривые распределения энергии в спектре 32 Лебеда показаны на рисунке 3. При построении кривой “1”, представляющей распределение энергии в спектре звезды во внезатменном

Таблица 3. Спектральная классификация двойной системы 32 Суг

Сп. класс	Лит. ссылка	E_{BV}	ΔV
K3 Ib-II + B	Байделман, 1954	—	—
K5 Ib + B6 V	Бааде, 1998	—	—
K 4-5 Ib + B 6-7	Итон и др., 2008	—	—
K5 + B5	Парсонс и Эйк 1998	0.06	3.8:
K3 Ib + B4.5V	Жэнисэ и Каркийя, 2002	0.20	2.6
K7 Ib-II + B 1 V	Уивер, 2002	—	—
K5II + B5V	Бурнашев, 1983	0.11	3.5
K5 Ib + B6V	Бурнашев, Бурнашева, наст. том.	0.0	4.1

состоянии, предполагалось, что вне минимума блеск звезды не испытывает сильных изменений: данные IUE получены 30 декабря 1980 г. (фаза 0.918), а в видимой области кривая получена 5 сентября 1994 г. (фаза 0.274). Кривая “2” представляет среднее распределение энергии в спектре звезды вблизи середины главного минимума: данные IUE получены 31 марта 1981 г. (фаза 0.997), наземные наблюдения выполнены 1 сентября 1990 г. (фаза 0.997).

Для оценки вклада компонентов в общее излучение системы были разработаны различные методы как с использованием спектров высокой дисперсии, так и широкополосных фотометрических измерений. Расширение доступного для исследований спектрального диапазона от инфракрасной области до области заатмосферного ультрафиолета в последние годы значительно облегчили ситуацию. Стало возможным не только определить вклад компонентов в общее излучение конкретной двойной системы, но и оценивать влияние межзвездного поглощения. Результаты применения разных методов, использованных для изучения двойной системы 32 Лебеда, суммированы в таблице 3.

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 относительные массы. Бааде (1998), Парсонс и Эйк (1998) использовали эту методику при наблюдениях в области вакуумного ультрафиолета. Несколько модернизировали метод Жэнисэ и Каркийя (2002), которые для классификации позднего компонента применили наблюдения в ближней инфракрасной области (8370–8870 Å). Метод “искусственных нейронных сетей”, развитый для спектральной классификации звезд на основе каталога Хоука, применил Уивер (2002). Возможно, что несколько отличающийся от других определений результат, полученный методом “нейронных сетей”, связан с недостаточно еще отработанной методикой применения “нейронных сетей” к столь пекулярным объектам.

Первая колонка таблицы 3, 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 влияния межзвездного поглощения, в четвертой – значение разности блеска компонентов.

В 80-х годах нами была предложена методика уточнения спектральных классов и светимостей компонентов неразделенных двойных систем на основе абсолютных спектрофотометрических данных (Бурнашев, 1983). В частности, для исследуемой системы 32 Лебеда получено, что спектр главного компонента близок к K5II, вторичного – к B5V, хотя в спектральной области, доступной наземным наблюдениям, могла считаться удовлетворительной и комбинация K5II + B3V. Отметим попутно, что в свое время фотометрические данные, полученные в ультрафиолетовой области на спутнике IUE (Шредер, 1983), дали основание предполагать, что спектр вторичного компонента близок к спектру звезды ηUMa , (B3V).

Затмение в системе 32 Лебеда – касательное, и это в значительной степени затрудняет ее исследование. Тем не менее имея распределение энергии во внезатменном спектре системы и принимая, что

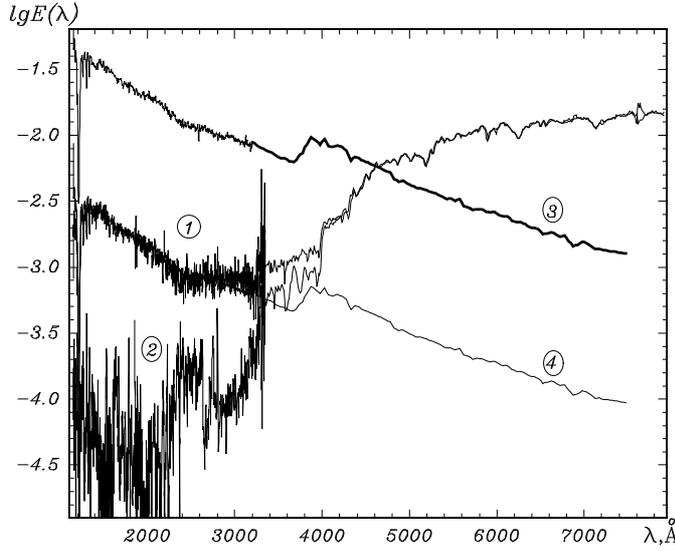


Рис. 3. Распределение энергии в спектре 32 Лебеда в максимуме и минимуме блеска (кривые 1 и 2). 3 – спектр β Sex. 4 – принятое распределение энергии в спектре раннего компонента

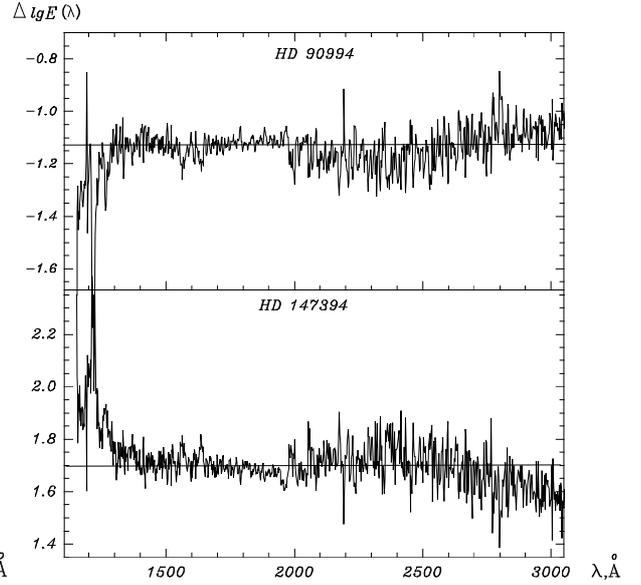


Рис. 4. Отклонение спектра 32 Лебеда в максимуме блеска от спектра стандартов β Sex (HD 90994, B6V) и τ Her (HD 147394, B5IV)

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.

Кривая межзвездного поглощения имеет широкую особенность около $\lambda 2200 \text{ \AA}$. Как видно на рисунках 3 и 4, никакой заметной депрессии на спектре исследуемой звезды не наблюдается, поэтому для нее нами принято $E(B - V) = 0$.

Кривая “3” представляет распределение энергии в спектре звезды β Sex. Кривая “4” – та же самая кривая, совмещенная с кривой распределения энергии исследуемой звезды.

Принимая в качестве стандартов для спектральной классификации звезды β Sex (HR 4119, B6V, $V = 5.10$) и τ Her (HR 6092, B5IV, $V = 3.90$), обладающих пренебрежительно малым межзвездным поглощением, были вычислены значения разностей монохроматических освещенностей для 32 Лебеда и для этих стандартов:

$$\Delta(\log E(\lambda)) = \log E_{32}(\lambda) - \log E_{st}(\lambda), \quad (1)$$

показанные на рисунке 4 для области вакуумного ультрафиолета.

Как видно, обе звезды в пределах точности измерений могут представить распределение энергии в спектре 32 Лебеда. Тем не менее кривая для β Sex (B6V) кажется более предпочтительной.

Несколько увеличилась по сравнению с нашими более ранними определениями и разность блеска между компонентами ($\Delta V = 4.1$).

Зная распределение энергии в спектре затмеваемого компонента, можно определить для частных фаз оптическую толщину поглощающей материи $\tau(\lambda)$:

$$e^{-\tau(\lambda)} = 1 - \frac{E_{K+B}(\lambda) - E_{K+B'}(\lambda)}{E_B(\lambda)}, \quad (2)$$

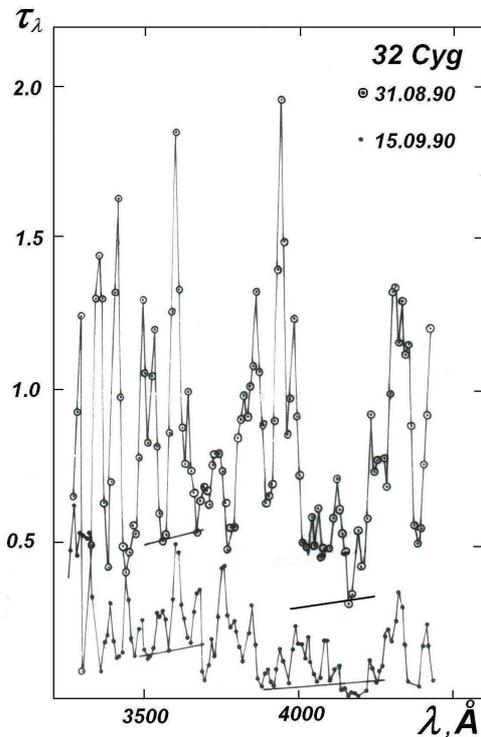


Рис. 5. Определение оптической толщины в разные моменты падения блеска

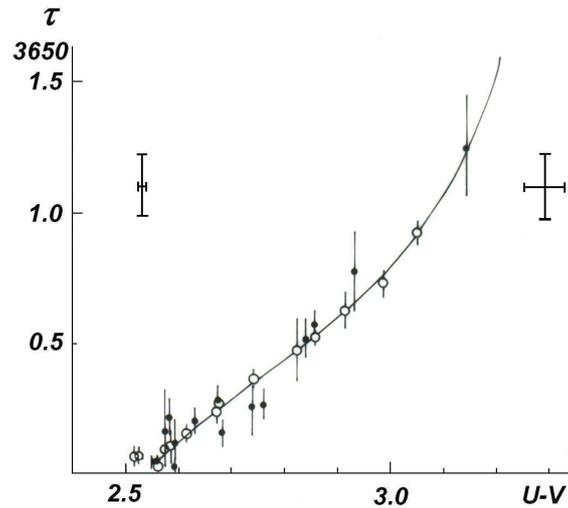


Рис. 6. Калибровка показателя цвета $U - V$ по оптической толщине. Точки – затмение 1987 года, кружки – затмение 1990 года. Указаны пределы ошибки определения для разных фаз затмения

где $E_{K+B}(\lambda)$ – общее излучение двойной системы, $E_{K+B'}(\lambda)$ – излучение системы в данной частной фазе, $E_B(\lambda)$ – излучение вторичного компонента.

На рисунке 5 для примера приведены полученные таким путем $\tau(\lambda)$ для двух моментов, соответствующих частным фазам. Как видно из рассмотрения рисунка, в области бальмеровского скачка есть участки спектра, наименее затронутые блендированием линиями К-компонента: около $\lambda 3550 \text{ \AA}$ и $\lambda 3675 \text{ \AA}$, после скачка – около $\lambda 4025 \text{ \AA}$.

Сплошными линиями на рисунке отмечен примерный уровень непрерывного поглощения в области бальмеровского скачка. Достаточно плотный ряд наблюдений в 1987 и 1990 годах дает возможность построить калибровочный график зависимости показателя цвета ($U-V$) от толщины поглощающей материи за бальмеровским пределом τ_{3650} в атмосфере К-компонента (рис. 6). Обозначена неопределенность, вызванная ошибками редукции, различной глубиной минимумов из-за возможной переменности радиуса К-сверхгиганта и т. д. Как и следовало ожидать, в фазах начала и конца затмения оптическая толщина в непрерывном спектре невелика, и можно считать, что поглощение пропорционально числу атомов на луче зрения. Если принять, что в данном спектральном диапазоне за бальмеровским пределом непрерывное поглощение вызвано только нейтральным водородом, то, используя значение коэффициента поглощения для водорода из справочника Аллена (1973), можно оценить число атомов водорода во втором состоянии на луче зрения, пользуясь результатами широкополосной фотометрии, полученными и для других затмений. Учитывая значительное бланкетирование, эти оценки, по-видимому, представляют верхнюю границу. Тщательное рассмотрение

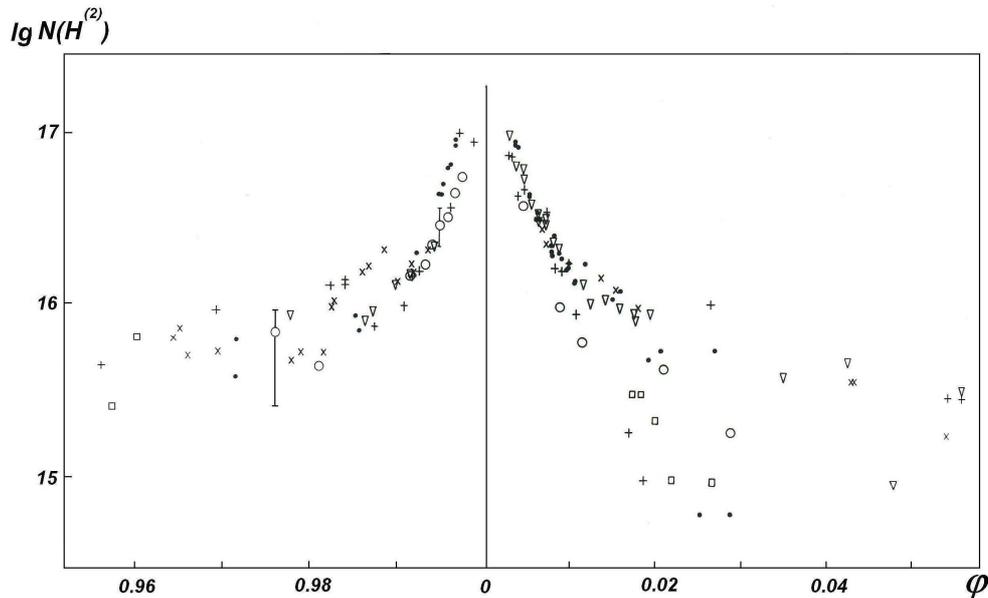


Рис. 7. Оценка числа атомов водорода в течение разных затмений. Обозначения такие же, как на рис. 2

опубликованных фотометрических данных, выполненное нами, позволило образовать более или менее однородный фотометрический ряд для нескольких затмений с 1959 по 1990 годы, в который после соответствующих редуций вошли наблюдения Йоханссена и др. (1970), Честера (1969), Сайто и др. (1972), Гелиха и др. (1972), Бема (1987), Долзана (1987), на основании которых и были вычислены τ_{3650} , а следовательно, и $N(H^{(2)})$ для нескольких затмений.

Построенный на основе этих данных график приведен на рис. 7. Обращают на себя внимание следующие два обстоятельства: во-первых, асимметрия хода $N(H^{(2)})$ до и после минимума и в самом минимуме, во-вторых, большой разброс точек после минимума. По-видимому, эти особенности вызваны неравномерным распределением материи в околозвездном пространстве возле К-компонента, обнаруженном, в частности, с помощью наблюдений, выполненных на IUE во время затмения 1981 года. Во время выхода из минимума наблюдения показали существование сгустка материи (Шредер, 1983).

3 Заключение

Критическое рассмотрение фотоэлектрических наблюдений переменной звезды 32 Лебеда позволило построить сводную кривую блеска за период с 1952 по 2000 гг. Периодограммный анализ этих наблюдений выявил изменения блеска с характерными периодами от нескольких дней до нескольких сотен дней, часть которых подтверждена независимыми наблюдениями. На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений во время затмений 1987–1993 гг., с привлечением результатов измерений, выполненных в области заатмосферного ультрафиолета на спутнике IUE, оценены спектральные классы компонентов двойной. Влияние межзвездного поглощения оказалось незначительным. Принимая, что депрессия в наблюдаемом спектре в районе $\lambda 3650 \text{ \AA}$ вызвана поглощением нейтральным водородом, оценено число атомов на втором уровне. Распределение материи в верхней атмосфере сверхгиганта показывает явную асимметрию.

Полученные результаты подтверждают предположение Р.А. Боцула (1966) о том, что эта материя образует некоторое уплотнение в направлении движения и более разрежена с обратной стороны звезды, образуя позади нее “неоднородный хвост”.

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 Р.Е. Гершберга, Ю.С. Ефимова и А.А. Шляпникова, за что выражают им чувство искренней признательности.

Литература

- Аллен (Allen C.W.) *Astrophysical quantities* (3-d edition). Univ. of London. The Athlone Press. 1973.
- Бааде (Baade R.) // *Ultraviolet Astrophysics Beyond the IUE Final Archive: Proc. conf. held in Sevilla 11–14 Nov. 1997.* / Eds Wamstecker W., Riestra G., Harris R. ESA SP-413. 1998. P. 325.
- Байделман (Bidelman W.P.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1954. V. 1. P. 175.
- Банг (Bahng J.D.R.) // *Astrophys. J.* 1958. V. 128. №. P. 572.
- Бем (Bohme D.) // *Inform. Bull. Variable Stars.* 1987. №. 3083. P. 1.
- Бизиаччи и др. (Bisicci G., Flora U., Hack M.) // *Astron. Astrophys. Suppl.* 1974. V. 13. P. 109.
- Блумер и Вуд (Blומר R.H., Wood F.B.) // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1974. V. 86. P. 689.
- Боцула Р.А. // *Бюлл. АОЭ.* 1962. №. 37. С. 37.
- Боцула Р.А. // *Изв. АОЭ.* 1966. №. 35. С. 15.
- Боцула Р.А. // *Астрон. циркуляр* 1970. №. 551. С. 7.
- Бурнашев В.И. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1983. Т. 66. С. 162.
- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2009. Т. 105. №. 1. С. 107.
- Гелих и др. (Gehlich U.K., Proliss J., Wehmeyer R.) // *Astron. Astrophys.* 1972. V. 20. P. 165.
- Гинан и Мак-Кук (Guinan E.F., McCook G.P.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific* 1974. V. 86. P. 947.
- Гинан, Мак-Кук (Guinan E.F., McCook G.P.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific* 1979. V. 91. P. 343.
- Гриффин и Гриффин (Griffin R., Griffin R.) // *J. Astrophys. Astron.* 1986. V. 7. P. 195.
- Гриффитс и Стенсел (Griffiths D.W., Stencel R.E.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific* 1972. V. 84. P. 427.
- Долзан (Dolzan A.) // *Inform. Bull. Variable Stars.* 1987. №. 3112. P. 1.
- Джонсон и др. (Johnson H.L., Mitchell R.J., Iriarte B., Wisniewski W.Z.) // *Commun. Lunar and Planet Lab.* 1966. №. 63. P. 99.
- Жэнисэ и Каркийя (Ginestet N., Carquillat J.M.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2002. V. 143. P. 513.
- Итон и др. (Eaton J., Henry G.W., O'Dell A.P.) // *Astrophys. J.* 2008. V. 679. №. 2. P. 1490.
- Йохансен и др. (Johannsen K.T., Rudkjoning J., Gyldenkerne K.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1970. V. 1. P. 149.
- Кви, ван Гендерен (Kwee K.K., van Genderen A.M.) // *Bull. Astr. Inst. Nether.* 1962. V. 17. P. 53.
- Крайнер и Винарски (Kreiner J.M., Winarski M.) // *Inform. Bull. Variable Stars.* 1972. №. 628. P. 1.
- Ларссон-Леандер (Larsson-Leander G.) // *Arkiv. Astron.* 1962. V. 3. P. 31.
- Линдблад, Пиппинг (Lindblad O., Pipping G.) // *Arkiv. Astron.* 1964. V. 3. P. 307.
- Магалашвили Н.Л., Кумсишвили Я.И. // *Бюл. Абастурманской астрофиз. обс.* 1974. №. 45. С. 37.
- Мермиллио (Mermilliod J.C.) *Photoelectric Photometric Catalogue of Homogeneous Measurements in the UBV System Inst. d'Astronomie. Univ. de Lausanne.* 1991.
- Никонов В.Б. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1975. Т. 54. С. 3.
- Парсонс и Эйк (Parsons S.B., Ake T.B.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1998. V. 119. P. 83.
- Райт (Wright K.O.) // *J.R.A.S. Canada.* 1972. V. 66. P. 289.
- Райт (Wright K.O.) // *Vistas Astron.* 1970. V. 12. P. 147.
- Сайто и др. (Saito M., Sato H., Sato N.) // *Tokyo Astron. Bull. 2nd Ser.* 1972. №. 219. P. 2557.
- Сато и Сайто (Sato H., Saito M.) // *Tokyo Astron. Bull. 2nd Ser.* 1973 №. 227. P. 2627.
- Страйжис В. // *Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Моклас.* 1977.
- Уивер (Weaver W.B.) // *Astrophys. J.* 2002. V. 541. №. 1. P. 298.
- Херцег, Шмидт (Herzeg T., Schmidt H.) // *Z.F. Astrophys.* 1963. V. 57. №. 4. P. 254.
- Хилл и др. (Hill G., Aikman G.L.C., Hilditch R.W., Pfannenschmidt E.L., Younger P.F.) // *Publ. DAO.* 1980. V. 15. P. 389.
- Хог и др. (Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 355. L. 27.
- Чандра, Панде (Chandra S., Pande M.C.) // *Observatory.* 1960. V. 80. P. 146.
- Честер (Cester B.) // *Mem. Soc. Astron. Ital.* 1969. V. 40. P. 517.
- Шредер (Schroder K.R.) // *Astron. Astrophys.* 1983. V. 124. L. 16.