

К ПРОБЛЕМЕ СТАТУСА ЗВЕЗДЫ SCHULTE 12 В АССОЦИАЦИИ Cyg OB2

© 2022 г. В. Г. Клочкова^{1,*}, Е. С. Ислентьева¹, В. Е. Панчук¹

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

*E-mail: Valentina.R11@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.09.2022 г.

После доработки 30.09.2022 г.

Принята к публикации 30.09.2022 г.

В произвольные даты 2001–2022 гг. на 6-метровом телескопе БТА с эшелле спектрографом НЭС получены спектры высокого разрешения LBV-кандидата Schulte 12 в ассоциации Cyg OB2. Найдена переменность со временем эмиссионного профиля H_{α} и абсорбций He I, Si II. Для 10 дат наблюдений выявлена переменность лучевой скорости с амплитудой $\Delta V_r \approx 8$ км/с относительно среднего значения гелиоцентрической скорости $V_r = -15.6 \pm 2.6$ км/с, что указывает на присутствие компаньона в системе. На основании надежных измерений интенсивности выборки DIBs получен избыток цвета $E(B - V) = 1.74 \pm 0.03^m$. Это приводит к величине межзвездного поглощения $A_v \approx 5.6^m$, что составляет лишь около половины полного поглощения. Принимая современные параметры Schulte 12, включая параллакс по Gaia EDR3, мы оценили ее абсолютную величину $M_v \approx -9.2^m$ и светимость $\lg(L/L_{\odot}) \approx 5.5$, что не превышает предела Хэмфрис–Дэвидсона.

Ключевые слова: массивные звезды, эволюция, LBV кандидаты, оптические спектры, переменность

DOI: 10.31857/S0004629922110093

1. ВВЕДЕНИЕ

Горячая звезда высокой светимости Schulte 12 (нумерация согласно работе [1]), потомок далеко проэволюционировавшей массивной звезды, является членом звездной ассоциации Cyg OB2. Будучи довольно близкой (согласно данным Gaia EDR3, ее параллакс $\pi = 0.5895 \pm 0.0518$ mas¹), эта звезда изучена довольно хорошо — база данных SIMBAD содержит для нее свыше 390 публикаций. Cyg OB2 известна как богатейшая по количеству массивных OB-звезд группировка в Галактике [2, 3]. Незначительная удаленность ассоциации (≈ 1.6 кпк) позволяет детально исследовать проэволюционировавшие звезды в ее составе, что важно для изучения особенностей эволюции массивных звезд. Schulte 12 (=MT 304 в списке [2]) издавна считается ярчайшей звездой в Галактике (см. статью [4] и ссылки в ней). Учитывая высокую светимость звезды в сочетании с нестабильностью фотометрических и спектральных данных, Массей и Томпсон [3] отнесли ее к зарождающимся LBV-звездам.

Кларк и др. [5], используя данные спектрального и фотометрического мониторинга Schulte 12, оценили ее параметры и пришли к выводу о том, что светимость этой звезды превышает предел

Хэмфрис–Дэвидсона. В последующее десятилетие решению этого загадочного феномена посвящено немало исследований, основной метод которых — долговременный фотометрический и спектральный мониторинг. Результаты и выводы разных авторов порой противоречивы. К примеру, авторы работы [6], проанализировав данные многолетних наблюдений Schulte 12 в рентгеновском и оптическом диапазоне, нашли возможные значения периода переменности и рассчитали предварительные параметры двойной системы. Однако, основываясь на параллаксе Gaia DR2, эти авторы пришли к выводу о том, что Schulte 12 на диаграмме Герцшпрунга–Рассела расположена далеко от предела Хэмфрис–Дэвидсона и скорее является не гипергигантом, а нормальным сверхгигантом.

Авторы работы [7], выполнив спектроскопию Schulte 12 в 2001–2011 гг., нашли признаки переменности лучевой скорости V_r этой звезды. В последующее десятилетие поиск переменности V_r продолжался (см. публикации [8, 9] и ссылки в них). Однако, будучи довольно близкой, Schulte 12 слаба в оптическом диапазоне из-за экстремально высокого поглощения [10], что усложняет выполнение ее спектрального мониторинга с высоким разрешением. Имеющиеся публикации пока

¹ mas — milli arc second, угловая миллисекунда.

основаны лишь на ограниченных выборках спектров [5–7, 11].

Полноценный спектральный мониторинг Schulte 12, необходимый для выяснения причины переменности V_r и для определения параметров переменности, к настоящему времени не проведен. Это стимулировало проведение многолетних наблюдений на 6-метровом телескопе БТА, и в данной статье мы представляем результаты, полученные на основе спектроскопии Schulte 12 в 2001–2022 гг. с высоким спектральным разрешением в интервале длин волн шириной 250–300 нм. Основная задача данной работы состоит в поиске переменности спектральных деталей и поведения со временем картины лучевой скорости. Методы наблюдений и обработки спектрального материала кратко описаны в разделе 2, полученные результаты приведены в разделе 3. Их обсуждение и выводы представлены в разделе 4.

2. ЭШЕЛЛЕ СПЕКТРОСКОПИЯ НА БТА

Спектры LBV-кандидата Schulte 12 получены с эшелле спектрографом НЭС [12], стационарно расположенном в фокусе Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. Даты наблюдений звезды в 2001–2022 гг. приведены в табл. 1. Последний год спектрограф оснащен матрицей ПЗС с числом элементов 4608×2048 , размер элемента 0.0135×0.0135 мм; шум считывания $1.8e^-$. Регистрируемый за одну экспозицию диапазон длин волн $\Delta\lambda = 470\text{--}778$ нм. В 2001–2011 гг. мы использовали ПЗС с числом элементов 2048×2048 . Для уменьшения потерь потока на входной щели спектрограф НЭС снабжен резателем изображения звезды. С использованием резателя каждый спектральный порядок повторяется трижды. Спектральное разрешение НЭС $R = \lambda/\Delta\lambda \geq 60000$. В спектрах Schulte 12 отношение уровня сигнала к шуму вдоль порядка изменяется от 10 до 40. В данной работе мы привлекли также спектр Schulte 12, полученный в 2001 г. с эшелле спектрографом PFES в первичном фокусе БТА, обеспечивающим умеренное разрешение. Детальное описание этого спектрографа дано в статье [13].

Экстракция одномерных данных из двумерных эшелле изображений выполнена с использованием модифицированного с учетом геометрии нашего эшелле кадра контекста ECHELLE пакета MIDAS. Все детали процедуры описаны Юшкиным и Клочковой [14]. Следы космических частиц удалены стандартным приемом – за счет медианного усреднения пары спектров, полученных последовательно. Для калибровки длин волн использовалась Th–Ag лампа. Все последующие шаги в обработке одномерных спектров выполнены с использованием современной версии пакета DECH20t, разработанного Г. Галазутдиновым.

Систематическая ошибка измерений гелиоцентрической лучевой скорости V_r по набору теллурических деталей и межзвездных линий дублета Na I не превышает 0.25 км/с по одной линии; ошибка измерения V_r по широким абсорбциям не превышает 0.5 км/с. Для усредненных значений скорости в табл. 1 ошибки составляют 0.6–2.4 км/с в зависимости от типа измеренных линий. Для отождествления деталей в спектрах Schulte 12 мы использовали списки линий из статьи [11]. Дополнительно были привлечены работы по спектроскопии родственных объектов [15, 16].

3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Профили H_α и других линий

Оптический спектр Schulte 12 не производит особого впечатления среди спектров других горячих проэволюционировавших звезд высокой светимости. Для сравнения используем результаты спектроскопии звезды MWC 314, близкой к Schulte 12 по ряду параметров. MWC 314 имеет экстремально высокую светимость и близкую к Schulte 12 температуру, не имеет существенной фотометрической переменности, поэтому считается LBV-кандидатом. Но в отличие от Schulte 12, оптический спектр MWC 314 содержит богатое разнообразие особенностей, ожидаемых в спектре LBV-звезды: мощные эмиссии H I и He I, разрешенные (Si II, Fe II) и запрещенные ([N II], [Ca II], [Fe II] и других металлов) эмиссии, зачастую с двухпиковым профилем [17, 18]. Спектр Schulte 12 в основном содержит абсорбции ионов легких элементов, исключением является эмиссия H_α с необычным и переменным профилем, что хорошо видно на рис. 1. Тип профиля H_α и его характер напоминает картину переменности этой эмиссии в спектрах голубого гипергиганта HD 183143 (см. [16], рис. 5). Однако в спектрах HD 183143 нижняя часть пьедестала профиля H_α существенно уже, чем в спектрах Schulte 12.

Помимо эмиссионного профиля H_α спектры Schulte 12 содержат слабые эмиссии на длинах волн $\lambda \approx 7495$ и 7513 Å. Обе детали отождествлены как эмиссии Fe II, они содержатся и в спектрах родственного гипергиганта HD 183143 [16]. Интенсивность второй эмиссии Fe II $\lambda 7513.17$ Å в спектре Schulte 12 выше, ее эквивалентная ширина для разных дат наших наблюдений составляет $W_\lambda = (0.04\text{--}0.08)$ Å. По 6 нашим спектрам с эмиссией Fe II $\lambda 7513.17$ Å, включая спектр с умеренным разрешением от 12.06.2001, получаем среднее значение скорости, соответствующей положению этой эмиссии: $V_r(7513) = -19.0 \pm 3.1$ км/с. Среднее значение без учета спектра за 12.06.2001, $V_r(7513) = -21.7 \pm 1.3$ км/с, мало отличается от

Таблица 1. Результаты измерений гелиоцентрической скорости V_r в спектрах Schulte 12 по разным типам линий

Дата JD	$\Delta\lambda$, нм	V_r , км/с		
		Абсорбции	Абсорбции “main”	DIBs
1	2	3	4	5
12.06.2001	454–793	-10.1 ± 2.0	-13.5 ± 1.4	-9.0 ± 0.5
2452073.48		(28)	(11)	(32)
12.04.2003	528–676	-24.0 ± 0.6	-22.4 ± 0.6	-10.7 ± 0.4
2452742.47		(24)	(12)	(18)
08.12.2006	447–594	-22.7 ± 1.1	-22.1 ± 1.3	-9.5 ± 1.2
2454078.27		(17)	(10)	(19)
26.09.2010	522–669	-9.4 ± 0.8	-8.4 ± 1.4	-9.4 ± 0.6
2455466.32		(30)	(6)	(30)
19.11.2010	522–669	-10.5 ± 0.7	-11.0 ± 0.8	-10.0 ± 0.3
2455520.28		(27)	(9)	(16)
11.08.2017	470–778	-2.6 ± 0.6	-1.84 ± 0.8	-10.0 ± 0.5
2457976.51		(47)	(9)	(45)
09.12.2019	470–778	-21.3 ± 0.6	-19.7 ± 1.2	-10.4 ± 0.4
2458826.22		(38)	(11)	(45)
07.08.2020	470–778	-20.0 ± 1.2	-23.5 ± 1.4	-10.7 ± 0.2
2459068.52		(34)	(10)	(38)
26.10.2021	470–778	-10.1 ± 2.4	-8.1 ± 1.9	-10.8 ± 0.4
2459514.24		(26)	(6)	(41)
11.06.2022	470–778	-25.0 ± 0.8	-25.4 ± 1.1	-10.2 ± 0.2
2459742.44		(47)	(11)	(15)

Примечание. В скобках указано число спектральных деталей, использованных при усреднении.

предыдущего, но имеет существенно меньшую ошибку. Областью формирования этой эмиссии, вероятно, является газовая околозвездная среда, поэтому в качестве системной скорости для Schulte 12 может быть принято значение $V_{\text{sys}} = -21.7 \pm 1.3$ км/с. Это значение скорости не совпадает со средним значением $V_{\text{sys}} \approx -10.3$ км/с для членов Суг OB2 в работе [3], но на гистограмме скоростей для ассоциации попадает в нормальную область значений V_{sys} . Отметим, что чисто эмиссионный профиль линии Mg II λ 10952 Å центрируется вблизи $V_r = -25$ км/с в спектрах Schulte 12, приведенных на фрагменте рис. 5 в работе [6]. Эти авторы использовали среднее положение двух эмиссий, Fe II λ 7513 и Mg II λ 10952 Å для оценки параметров предполагаемой двойной системы с периодом около 108 дней.

Рисунок 1 демонстрирует существенные вариации формы и интенсивности лишь в верхней части профиля H_α . Нижняя часть профиля H_α с крыльями шириной свыше 400 км/с имеет вид

симметричного и стабильного пьедестала. Более детально вариации профиля H_α в спектрах Schulte 12 для различных дат наблюдений иллюстрирует рис. 2. Положение вертикальной штриховой линии на всех фрагментах этого рисунка соответствует скорости $V_r(7513) = -21.7$ км/с, принятой в качестве системной.

3.2. Картина лучевых скоростей

Результаты наших измерений гелиоцентрической лучевой скорости V_r по линиям разного типа в спектрах Schulte 12 суммированы в табл. 1. Коротковолновая часть спектров непригодна для измерений из-за экстремального поглощения, поэтому в основном мы проводили измерения деталей спектров в области длин волн $\lambda \geq 5000$ Å. Кроме того, в расчет средних значений V_r не привлекались линии He I и Si II из-за значительной асимметрии и переменности их профилей. Эти особенности линий He I хорошо видны на примере линии He I λ 5876 Å на рис. 3, где показаны

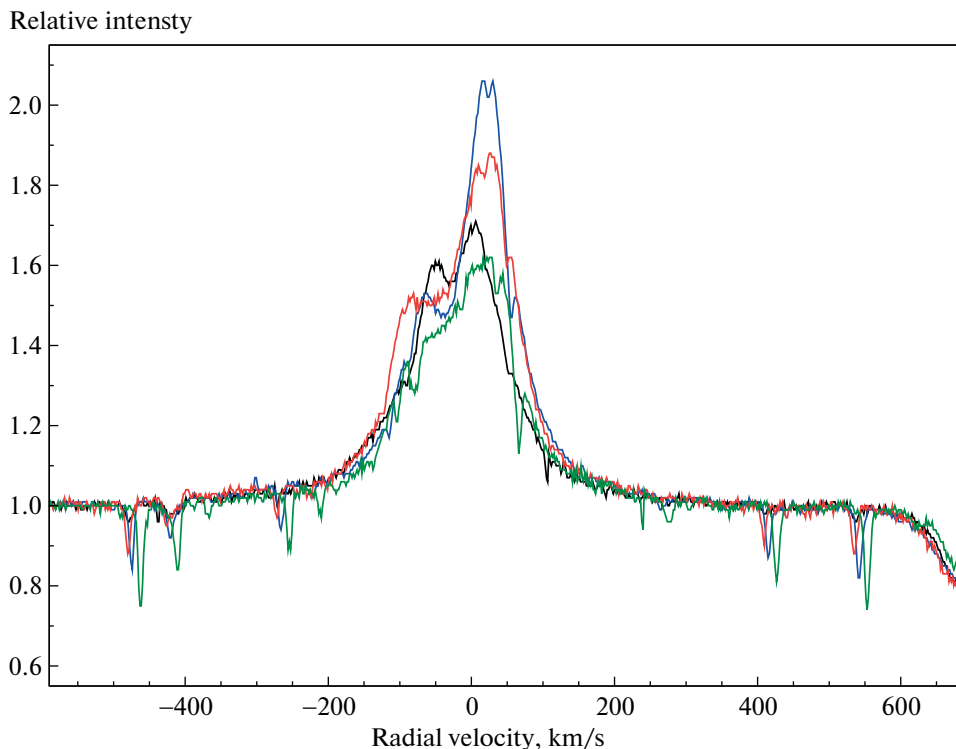


Рис. 1. Профили H_{α} в 2010–2021: 26.09.2010 (синяя линия), 11.08.2017 (зеленая), 09.12.2019 (красная), и 26.10.2021 (черная). Здесь и на профилях в последующих рисунках теллурические детали не удалены.

профили для нескольких дат наблюдений. Положение абсорбционного ядра линии меняется в интервале значений: от +30 до –38 км/с. На рис. 4 представлен фрагмент двух спектров, содержащий абсорбции Si II λ 6347 и 6371 Å для двух дат наблюдений. Здесь хорошо видна переменность формы профиля линий Si II и положения их ядер, а также вытянутость коротковолнового крыла их профилей из-за воздействия ветра. В то же время, как и следовало ожидать, межзвездные полосы на этом рисунке стационарны: не меняется ни их форма, ни положение.

Столбец 3 в табл. 1 содержит среднее значение $V_r(\text{abs})$ для каждой даты по всем отождествленным симметричным абсорбциям в соответствующем спектре. В столбце 4 приведены средние значения V_r по выборке самых надежных абсорбций без видимых особенностей профилей (N II, C II, Si III, Al III), которые в данном тексте мы назовем “main” (см. табл. 2). Средние значения V_r в столбцах 3 и 4 табл. 1 значительно меняются от даты к дате. Средние из столбца 3 меняются с амплитудой $\Delta V_r(\text{abs}) = 7.8$ км/с относительно среднего по всем датам $V_r(\text{abs}) = -15.5 \pm 2.6$ км/с. На основе измерений положений “main” линий, перечисленных в столбце 4, среднее по датам значение $V_r(\text{main}) = -15.6 \pm 2.6$ км/с мало отличается от

средней скорости $V_r(\text{abs})$ по всем симметричным абсорбциям, но имеет несколько большую амплитуду переменности скорости, $\Delta V_r = 8.1$ км/с. Таким образом, переменность лучевой скорости в спектре Schulte 12 с амплитудой около 8 км/с не вызывает сомнения.

Авторы недавней работы [8] изучили переменность V_r для нескольких LBV и LBV-кандидатов, включая Schulte 12. Используя спектры высокого разрешения, полученные со спектрографом HERMES, и метод кросс-корреляции на базе избранных линий, они получили высокую долю двойственности, $\approx 62\%$, среди этих объектов. Для Schulte 12, используя несколько линий N II, линии He I λ 1 5876 и Si II λ 6347, они получили полное изменение скорости $\Delta V_{r,\text{max}} = 24.2$ км/с за 3658 дней, что близко и к нашим данным из табл. 1.

3.3. Околзвездные и межзвездные детали

Schulte 12 издавна известна как одна из наиболее покрасневших звезд. Еще в 1954 г., базируясь на фотоэлектрических наблюдениях, Морган и др. [19] отметили, что значение показателя цвета, $(B - V) = +3.01^m$, у Schulte 12 самое большое среди горячих звезд и приводит к величине межзвездного поглощения от 9 до 10^m . Авторы недавних пуб-

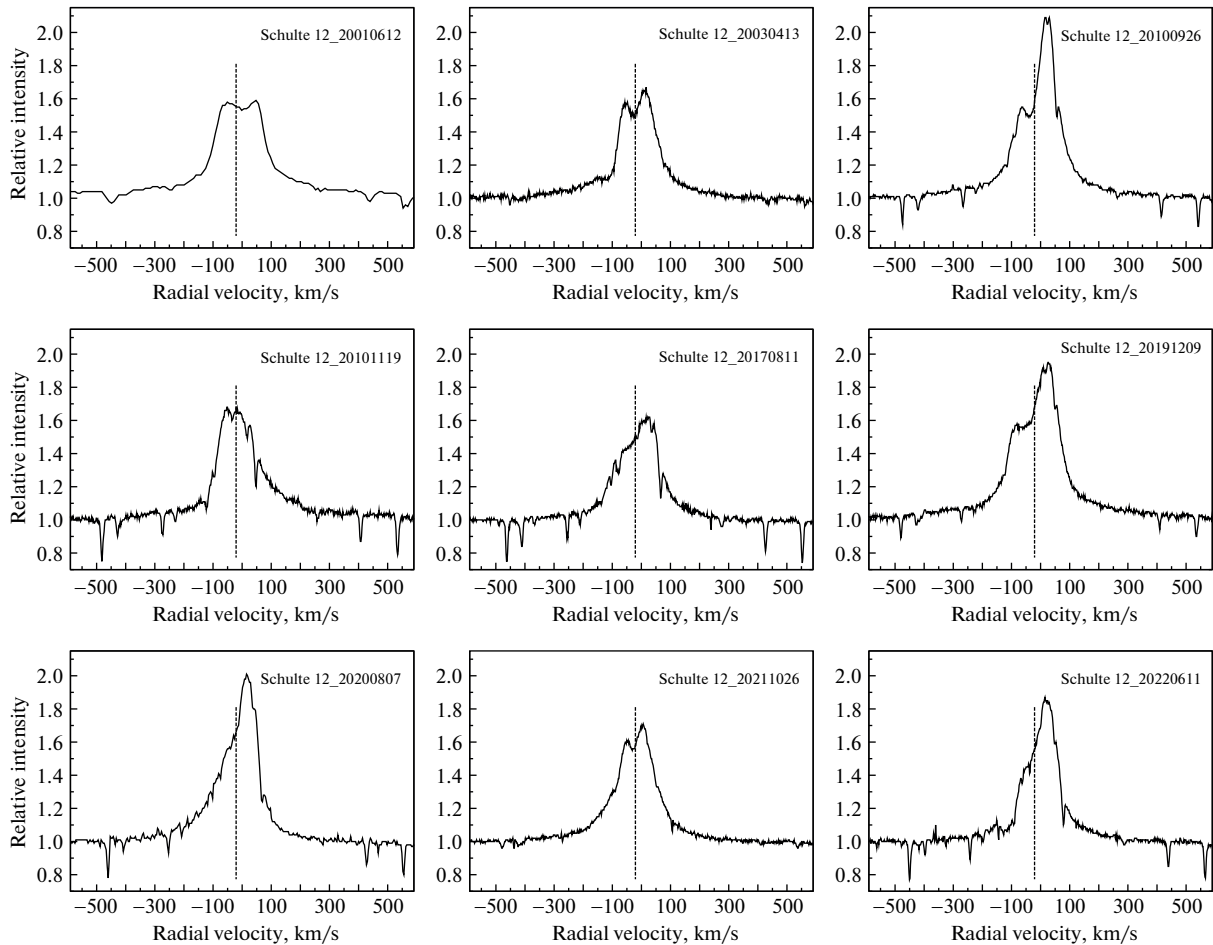


Рис. 2. Переменность профиля H_{α} в спектрах Schulte 12. Положение вертикальной линии соответствует скорости $V_r(7513) = -21.7$ км/с, принятой в качестве системной.

ликаций [5, 10], моделируя спектрофотометрические данные для Schulte 12, определили столь же высокое полное поглощение, $A_v \approx 10^m$.

Schulte 12 также известна как звезда, оптический спектр которой содержит множество межзвездных полос (DIBs), надежно отождествленных в статье [11]. Подчеркнем, что DIBs доминируют среди иных абсорбций в спектре звезды. Две такие полосы содержит фрагмент на рис. 4, включающий и две абсорбции Si II $\lambda 6347$ и 6374 \AA . В столбце 5 табл. 1 мы приводим информацию о средних лучевых скоростях $V_r(\text{DIBs})$ для каждого из имеющихся у нас спектров. Среднее по всем датам наблюдений значение скорости $V_r(\text{DIBs}) = -10.0 \pm 0.2$ км/с хорошо согласуется с аналогичной величиной, измеренной в спектрах 12 других членов ассоциации Cyg OB2 [7].

Многокомпонентный профиль линии Na I $\lambda 5889 \text{ \AA}$ в спектрах Schulte 12 в 2019 и 2021 г. показан на рис. 5. Короткая вертикальная линия на

этом рисунке указывает положение межзвездной линии KI $\lambda 7699 \text{ \AA}$, ее усредненное по пяти нашим спектрам положение, $V_r(\text{KI}) = -9.5 \pm 0.2$ км/с, хорошо согласуется с усредненным значением скорости $V_r(\text{DIBs}) = -10.0 \pm 0.2$ км/с. Самая коротковолновая абсорбция “1” профиля Na I D-линий, положение которой ($V_r = -32.0 \pm 0.4$ км/с) не меняется от даты к дате наблюдений, вероятно, формируется в околозвездной оболочке. Околозвездное происхождение этой детали подтверждается и малой шириной ее профиля, около 10 км/с. Абсорбция с близким положением, $V_r \approx -30$ км/с, зафиксирована и в спектрах других В-звезд в составе Cyg OB2 [7]. Учитывая принятое значение системной скорости $V_{\text{sys}} = -21.7 \pm 1.3$ км/с, можем оценить скорость расширения оболочки: $V_{\text{exp}} \approx 10$ км/с. Следующий столь же узкий компонент “2” на профилях D-линий дублета NaI, $V_r \approx -16$ км/с, может также иметь околозвездное происхождение, однако, это пока

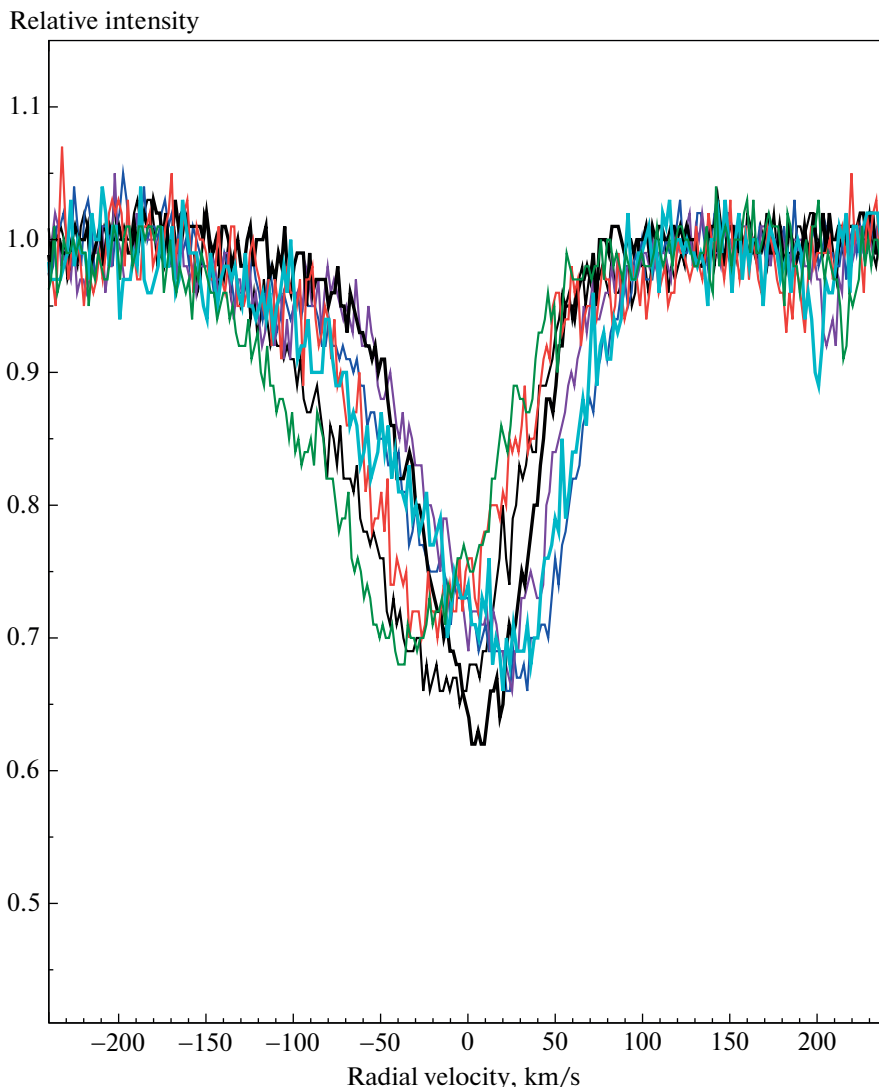


Рис. 3. Переменность профиля линии He I 5876 Å в спектрах Schulte 12 для дат: 13.04.2003 (черная тонкая линия), 08.12.2006 (синяя), 19.11.2010 (сиреневая), 11.08.2017 (фиолетовая), 09.12.2019 (красная), 26.10.2021 (черная жирная линия), 11.06.2022 (темно-зеленая).

остается на уровне предположения. Компонент “3” возникает в межзвездной среде, где формируются множество DIBs и линия K I.

Ранее Ченцов и др. [7] по спектрам БТА + НЭС изучили поглощение для 13 горячих звезд в составе Cyg OB2, включая и Schulte 12. Используя межзвездные компоненты D-линий Na I и межзвездную полосу DIB $\lambda 5797$, эти авторы подтвердили экстремально высокое покраснение для Schulte 12 и предположили вклад околозвездной среды, что хорошо иллюстрирует рис. 16 в их публикации [7]. Марьева и др. [10], исследовав поведение поглощения в ассоциации Cyg OB2, нашли рост покраснения в направлении на Schulte 12. Эти авторы также пришли к выводу о том, что значи-

тельная доля избытка цвета обусловлена вкладом околозвездной среды.

Имея качественный спектральный материал, мы оценили избыток цвета Schulte 12, соответствующего эквивалентным ширинам DIBs, для которых опубликованы калибровки W_λ в зависимости от $E(B - V)$. В табл. 3 мы приводим W_λ избранных DIBs и соответствующие избытки цвета $E(B - V)$, используя калибровки авторов [20] и [21]. Из-за слишком высокого межзвездного поглощения в направлении на Schulte 12, мы, к сожалению, не смогли получить количественные оценки, применив широко известные калибровки [20], поскольку эквивалентные ширины DIBs в спектре Schulte 12 выходят далеко за предел калиб-

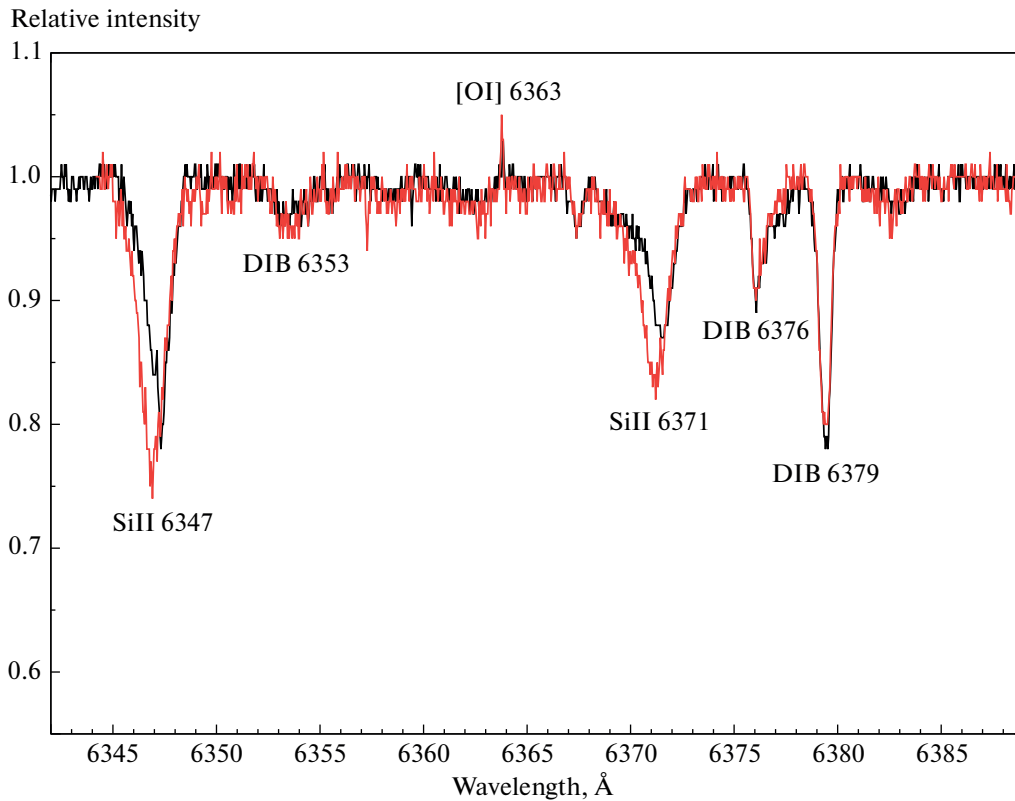


Рис. 4. Фрагмент спектров, содержащий абсорбции Si II и DIBs, в спектрах Schulte 12, полученных в 2019 г. (красная линия) и 2021 г. (черная линия).

ровок в этой работе. Согласно калибровкам [21], средний избыток цвета $E(B - V) = 1.74 \pm 0.03^m$, применяя стандартное отношение поглощения к избытку цвета, $R = 3.1$, получаем межзвездное поглощение для Schulte 12: $A_v(\text{DIBs}) \approx 5.6^m$. Отсюда следует, что около половины экстремального поглощения Schulte 12 обусловлено существованием мощной околосредней оболочки.

Принимая современное значение расстояния до Schulte 12, $d = 1.598_{-0.13}^{+0.16}$ кпк из каталога [22] на основе данных Gaia EDR3, значение эффективной температуры $T_{\text{eff}} = 13.7$ кК [5] и полное поглощение $A_v \approx 10^m$ из работы [10], мы оценили абсолютную величину этой звезды: $M_v \approx -9.2 \pm 0.15^m$ и ее светимость $\lg(L/L_{\odot}) \approx 5.5$. Отметим, что неопределенность в значении абсолютной величины Schulte 12 может внести и неточность параллакса, обусловленная наличием мощной околосредней оболочки, которая создает эффект псевдофотографии, увеличивая видимый угловой диаметр звезды и искажая ее параллакс. Этот эффект известен для звезд высокой светимости с протяженными оболочками, для Schulte 12 он был отмечен в статьях [6, 23].

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Известно, что отличительным признаком LBV-звезд, наряду с экстремально высокой светимостью, служит их значительная фотометрическая и спектральная переменность. Главным критерием, который обеспечивает надежное выделение LBV-звезды среди иных массивных проэволюционировавших звезд, является фиксация кардинального изменения ее блеска и цвета. Отличной иллюстрацией специфического поведения блеска LBV-звезд может служить обзор [24], рис. 11, где показана кривая блеска для η Car за период ее наблюдений между 1600 и 2000 г.

Как следует из данных ASAS-SN [25], за время наблюдений в последние 1200 ночей Schulte 12 не испытывала значительных изменений блеска относительно среднего значения $V = 11.6^m$. Более ранние фотометрические сведения за последнее десятилетие XX века, с переменностью того же уровня, приведены в статье [5]. Строгая периодичность на долговременных рядах фотометрических данных для Schulte 12 пока не выявлена. Наблюдаемая иррегулярная нестабильность блеска Schulte 12 на уровне 0.1^m подобна микропеременности у LBV-звезд [26], и может быть объяснена проявлением нестабильности ветра. Отсутствие

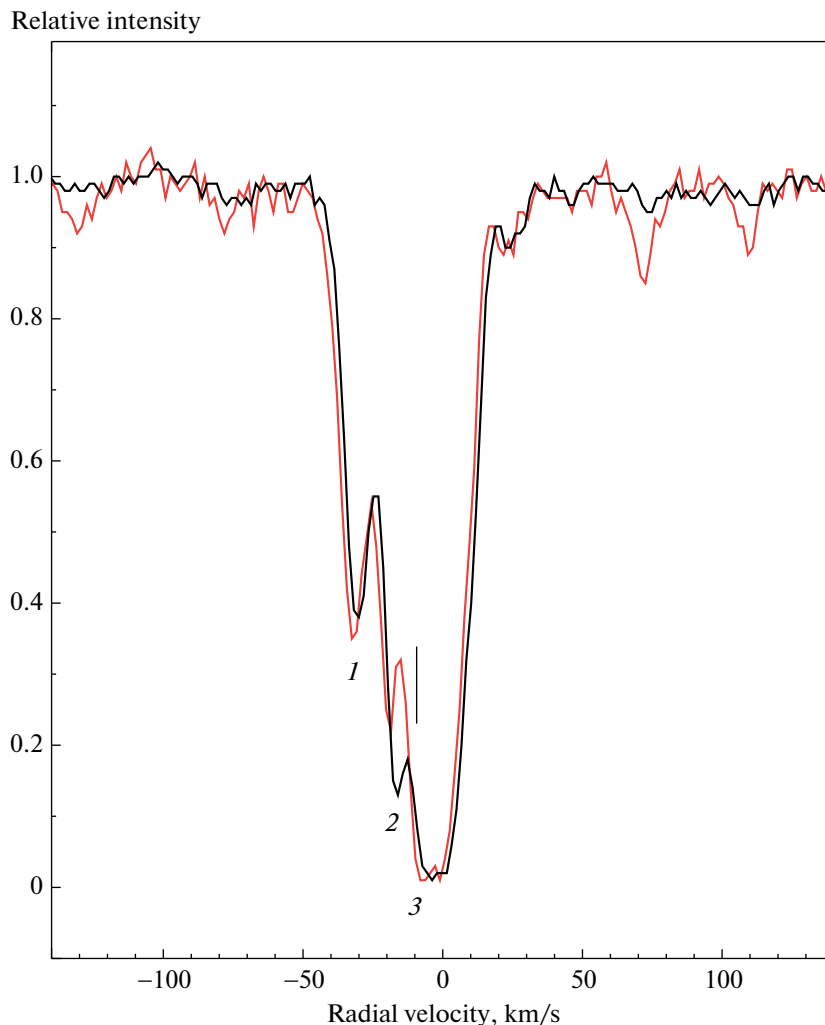


Рис. 5. Многокомпонентный профиль линии Na I 5889 Å в спектрах Schulte 12, полученных в 2019 г. (красная линия) и в 2021 г. (черная). Положение короткой вертикали соответствует скорости $V_r = -9.5$ км/с для межзвездной линии K I 7699 Å.

эрупций, свойственных LBV, может указывать на пребывание Schulte 12 в “спящем” состоянии. Такой неактивный период в жизни LBV может быть долгим, например, гигантская эрупция у LBV-кандидата P Cyg состоялась около 1600 г. Наличие мощной околозвездной оболочки Schulte 12 свидетельствует о том, что и эта звезда уже проходила эпизоды с большой потерей вещества.

Используя измерения эквивалентных ширин DIBs в наших спектрах Schulte 12 и калибровки [21], мы оценили средний избыток цвета:

$E(B - V) = 1.74 \pm 0.03^m$. Применяя стандартное отношение поглощения к избытку цвета, $R = 3.1$, получили межзвездное поглощение для Schulte 12:

$A_V(\text{DIBs}) \approx 5.6^m$. Таким образом, приходим к выводу о том, что около половины экстремального

поглощения Schulte 12 обусловлено существованием мощной околозвездной оболочки.

Важнейшим физическим параметром для LBV-кандидата является значение абсолютной светимости. Проблема чрезвычайно высокой светимости Schulte 12 рассмотрена многими авторами. Прежде всего отметим уже упомянутую работу [5], авторы которой провели моделирование фотометрических (от UV до радиодиапазона) и спектральных данных для Schulte 12 и получили экстремальные значения ее параметров: абсолютная звездная величина $M_V \approx -9.85^m$, светимость $\lg(L/L_\odot) = 6.28$ и масса $M/M_\odot \approx 110$. В итоге авторы [5] пришли к выводу о невозможности в рамках имеющихся представлений фиксировать эволюционный статус для столь массивного и холодного гипергиганта.

В сводке физических параметров для выборки LBV и LBV-кандидатов авторы [8] приводят для Schulte 12 два значения светимости: первое значение $\lg(L/L_{\odot}) = 6.1-6.3$ на основе параллакса Gaia EDR3, и второе, на основе данных Gaia DR2 согласно Смиуту и др. [27], существенно ниже: в интервале 5.7–5.9. Наша оценка светимости, полученная на основе расстояния из каталога [22] на основе Gaia EDR3, современных значений эффективной температуры $T_{\text{eff}} = 13.7$ кК [5] и полного поглощения $A_v \approx 10^m$ [10] еще ниже: $\lg(L/L_{\odot}) \approx 5.5$. Итак, совокупность параметров Schulte 12 приводит к ее нормальному положению на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Для иллюстрации этого важнейшего вывода можно использовать, например, диаграмму для массивных прэволюционировавших звезд в обзоре [28]).

Одним из наших новых результатов является фиксация скорости расширения околосредной газовой среды. Самая коротковолновая абсорбция профиля Na I D-линий, положение которой $V_r = -32.0 \pm 0.4$ км/с не меняется от даты к дате наблюдений, вероятно, формируется в околосредной оболочке. Учитывая принятое значение системной скорости $V_{\text{sys}} = -21.7 \pm 1.3$ км/с, можем оценить значение скорости расширения оболочки: $V_{\text{exp}} \approx 10$ км/с. Можно предположить, что следующий, стабильный компонент, $V_r \approx -16$ км/с, также формируется в околосредной среде Schulte 12.

За счет многократных наблюдений нами зафиксирована переменность эмиссионного профиля H_{α} , причина которой пока остается неясной. Аналогичные изменения профиля H_{α} зарегистрированы авторами [5] в спектрах Schulte 12 в 1998, 2000, 2008 г. Для объяснения переменности формы профиля эти авторы предположили, что сложный профиль H_{α} может быть обусловлен наличием дополнительной небулярной эмиссии, смещенной в коротковолновую область. Однако они подчеркнули, что принятие такого решения в настоящее время представляется преждевременным, поскольку в спектре Schulte 12 отсутствуют ожидаемые линии, прежде всего запрещенные эмиссии [N II], [S II], характерные для спектров туманностей.

Обнаруженная переменность профилей абсорбций He I, Si II обусловлена влиянием ветра. Здесь следует отметить, что эта переменность профилей He I λ 5876, Si II λ 6347 Å вносит дополнительный вклад в величину переменности скорости Schulte 12, обнаруженную авторами [8].

Важным итогом нашей работы считаем надежное выявление переменности лучевой скорости: по спектрам для 10 дат наблюдений амплитуда ее переменности составляет $\Delta V_r \approx 8$ км/с относительно

Таблица 2. Список абсорбций “main” в спектрах Schulte 12, использованных для значений V_r в столбце 4 табл. 1

λ , Å	Элемент	λ , Å	Элемент
4793.65	N II(20)	5133.12	C II(16)
4803.29	N II(20)	5139.17	C II(16)
4895.11	N II(1)	5142.34	S II(1)
4994.36	N II(24.64)	5143.49	C II(16)
5001.14	N II(19)	5145.16	C II(16)
5001.48	N II(19)	5151.09	C II(16)
5002.70	N II(4)	5512.70	O I(25)
5010.62	N II(4)	5526.25	S II(11)
5025.66	N II(19)	5535.35	C II(10)
5040.72	N II(19)	5573.47	Fe III(68)
5041.03	Si II(5)	5639.97	S II(14)
5045.10	N II(4)	5640.33	S II(11)
5047.29	S II(15)	5645.67	S II(6)
5055.96	Si II(5)	5666.63	N II(3)
5056.31	Si II(5)	5676.02	N II(3)
5063.46	Fe III(5)	5679.56	N II(3)
5073.90	Fe III(5)	5686.21	N II(3)
5086.72	Fe III(5)	5696.60	Al III(2)
5093.56	Fe II	5710.77	N II(3)
5097.27	Fe II	5722.73	Al III(2)
5100.74	Fe II(35)	5730.65	N II(3)
5103.34	S II(7)	5739.73	Si III(4)
5121.82	C II(12)	5747.30	N II(9)
5125.20	C II	6482.05	N II(8)
5127.35	Fe III(5)	6578.05	C II(2)
		6582.88	C II(2)

Примечание. В скобках указано число спектральных деталей на указанной длине волны, использованных при усреднении.

среднего значения скорости $V_r = -15.6 \pm 2.6$ км/с, что указывает на наличие компаньона в системе Schulte 12. Доказательство присутствия компаньона у Schulte 12 долгое время является принципиальным моментом в решении проблемы ее экстремально высокой светимости при столь низком значении эффективной температуры. Это нестандартное сочетание параметров приводит к уклонению положения звезды на Г-Р диаграмме от теоретической изохроны для членов ассоциации Cyg OB2 (см. [5], рис. 14). Напомним, что Марьева и др. [10] обнаружили компаньон у Schulte 12 методом спекл-интерферометрии на 6-м телескопе и оценили величину орбитального периода в двойной системе в диапазоне 100–200 лет.

Таблица 3. Эквивалентные ширины W_λ DIBs, усредненные по спектрам Schulte 12

$\lambda, \text{\AA}$	$W_\lambda, \text{m\AA}$	$E(B - V)$ mag	
5780.48	829	1.8;	>1.4
5797.06	269	1.7;	>1.4
6195.98	109	1.8;	>1.4
6269.75	199		>1.4
6379.32	159	1.7;	1.4
6445.20	58		>1.4
6613.62	366	1.7;	>1.4
6660.71	56		1.4

Примечание. В столбце 3 жирным шрифтом выделены значения избытка цвета $E(B - V)$ по калибровкам [21], обычным шрифтом – по калибровкам [20].

Анализируя рентгеновский спектр Schulte 12, авторы [9] также пришли к выводу о присутствии О-компаньона и указали его наличие причиной столкновения ветров в двойной системе и возникновения рентгеновского излучения. Авторы современного обзора [29] сделали более общий вывод, что двойственность массивной звезды может быть верным указанием на то, что звезда наблюдается на пути к стадии LBV.

Поиск компаньонов является актуальной задачей в понимании природы звезд с экстремальными значениями массы и светимости, что хорошо иллюстрируют недавние спекл-наблюдения звезд в ядре скопления R136 [30]. Эти наблюдения на телескопе Gemini позволили, в частности, разрешить на компоненты R136a1 – самую массивную из известных звезд. Результаты авторов [30] в полтора-два раза понизили оценки массы звезд в ядре R136.

Для подтверждения наших результатов и для оценки параметров двойной системы необходимо длительное продолжение спектрального мониторинга Schulte 12 с высоким спектральным разрешением и высоким отношением сигнала к шуму, который обеспечит необходимый ряд однородных кинематических данных. Новые спектральные наблюдения послужат основой для моделирования профилей характерных деталей в спектре Schulte 12 и изучения поведения их параметров со временем.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Мы благодарим за финансовую поддержку Российский научный фонд (грант No. 22-12-00069²). Наблюдения на 6-метровом телескопе САО РАН поддержаны Министерством науки и высшего образования РФ.

² <https://rscf.ru/project/22-12-00069/>

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использованы сведения из астрономических баз данных SIMBAD, VALD, SAO/NASA ADS, и Gaia DR3.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. H. Schulte, *Astrophys. J.* **128**, 41 (1958).
2. P. Massey and A. B. Thompson, *Astron. J.* **101**, 1408 (1991).
3. D. C. Kiminki, H. A. Kobulnicky, K. Kinemuchi, J. S. Irwin, et al., *Astrophys. J.* **664**, 1102 (2007).
4. R. M. Humphreys, *Astrophys. J. Suppl.* **38**, 309 (1978).
5. J. S. Clark, F. Najarro, I. Negueruela, B. W. Ritchie, M. A. Urbaneja, and I. D. Howarth, *Astron. and Astrophys.* **541**, id. A145 (2012).
6. Y. Nazé, G. Rauw, S. Czesla, L. Mahy, and F. Campos, *Astron. and Astrophys.* **627**, id. A99 (2019).
7. Е. Л. Ченцов, В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук, М. В. Юшкин, Д. С. Насонов, *Астрон. журн.* **90**, 576 (2013).
8. L. Mahy, C. Lanthermann, D. Hitemékers, J. Kluska, et al., *Astron. and Astrophys.* **657**, id. A4 (2022).
9. L. M. Oskinova, D. P. Huenemoerder, W.-R. Hamann, T. Shenar, A. A. C. Sander, R. Ignace, H. Todt, and R. Hainich, *Astrophys. J.* **845**, id. 39 (2017).
10. O. V. Maryeva, E. L. Chentsov, V. P. Goranskij, V. V. Dyachenko, S. V. Karpov, E. V. Malogolovets, and D. A. Rastegaev, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **458**, 491 (2016).
11. В. Г. Клочкова, Е. Л. Ченцов, *Астрон. журн.* **81**(12), 1104 (2004).
12. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, М. В. Юшкин, *Астрон. журн.* **94**, 808 (2017).
13. V. E. Panchuk, I. D. Najdenov, V. G. Klochkova, A. B. Ivanchik, S. V. Yermakov, and V. A. Murzin, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.* **44**, 127 (1997).
14. М. В. Юшкин, В. Г. Клочкова, Препринт Спец. Астрофиз. Обсерв. № 206 (2005).
15. E. L. Chentsov and A. N. Sarkisyan, *Astrophys. Bull.* **62**, 257 (2007).
16. E. L. Chentsov, S. V. Ermakov, V. G. Klochkova, V. E. Panchuk, K. S. Bjorkman, and A. S. Miroshnichenko, *Astron. and Astrophys.* **397**, 1035 (2003).
17. A. S. Miroshnichenko, Y. Fremat, L. Houziaux, Y. Andrillat, E. L. Chentsov, and V. G. Klochkova, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **131**, 469 (1998).
18. A. Frasca, A. S. Miroshnichenko, C. Rossi, M. Friedjung, E. Marilli, G. Muratorio, and I. Busà, *Astron. and Astrophys.* **585**, id. A60 (2016).
19. W. W. Morgan, H. L. Johnson, and N. G. Roman, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **66**, 85 (1954).
20. J. Kos and T. Zwitter, *Astrophys. J.* **774**, id. 72 (2013).

21. *R. Luna, N. L. J. Cox, M. A. Satorre, D. A. García Hernández, O. Suárez, and P. García Lario*, *Astron. and Astrophys.* **480**(1), 133 (2008).
22. *C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, M. Demleitner, and R. Andrae*, *Astron. J.* **161**(3), id. 147 (2021).
23. *E. L. Chentsov*, *Astrophys. Bull.* **76**(3), 286 (2021).
24. *A. M. van Genderen*, *Astron. and Astrophys.* **366**, 508 (2001).
25. *C. S. Kochanek, B. J. Shappee, K. Z. Stanek, T. W.-S. Holien, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **129**(980), 104502 (2017).
26. *H. J. G. L. M. Lamers, M. V. Bastiaanse, C. Aerts, and H. W. W. Spoon*, *Astron. and Astrophys.* **335**, 605 (1998).
27. *N. Smith, M. Aghakhanloo, J. W. Murphy, M. R. Drout, K. G. Stassun, and J. H. Groh*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **488**, 1760 (2019).
28. *M. Kraus and A. F. Torres*, in *Pulsations Along Stellar evolution*, Workshop Series of the Asociacion Argentina de Astronomia **12**, 234 (2021).
29. *K. Weis and D. J. Bomans*, *Galaxies* **8**(1), 20 (2020).
30. *V. M. Kalari, E. P. Horch, R. Salinas, J. S. Vink, M. Andersen, J. M. Bestenlehner, and M. Rubio*, *Astrophys. J.* **935**, id. 162 (2022).