

УДК 524.358

Спектральная переменность звезд Вольфа — Райе.

II. Предполагаемые двойные HD 191 765, HD 193 077
и HD 192 163

С. В. Марченко

Приведены результаты наблюдений в 1984—1985 гг. трех звезд, которые, возможно, принадлежат к двойным системам, состоящим из звезды Вольфа — Райе и компактно-го спутника. У звезды HD 193 077 переменность спектра имеет эпизодический характер. HD 191 765 демонстрирует высокий уровень активности. Обнаружены взаимосвязанные изменения эмиссионных линий за время порядка 1 ч. У этой звезды в 1984 г. определен период $P=1.74\pm 0.38^d$ по изменениям эквивалентных ширин трех линий. У HD 192 163 в 1985 г. переменность формы профиля линии He II λ 486.0 нм не обнаружена.

SPECTRAL VARIABILITY OF THE WOLF-RAYET STARS. II. PROBABLE BINARIES HD 191 765, HD 193 077 AND HD 192 163, by Marchenko S. V.— The results of observations of three probable binaries consisting of the Wolf-Rayet star and the compact object are presented. The spectrum of HD 193 077 varies only episodically. HD 191 765 demonstrates the high level of spectral activity. Correlations are found between the variations of equivalent widths of emission lines. The equivalent widths of three lines in HD 191 765 spectra show the 1.74^d periodicity during 1984. No variations are observed of the He II λ 486.0 nm line in HD 192 163 during 1985.

Звезды HD 191 765, HD 193 077 и HD 192 163 объединены возможной принадлежностью к системам WR + c (звезда Вольфа — Райе и ее компактный спутник — нейтронная звезда либо черная дыра). Для каждой из них выполнены обширные фотометрические и спектральные наблюдения с целью поиска периодических изменений блеска и лучевых скоростей. Тем не менее некоторые вопросы остаются открытыми: есть ли общие черты в переменности спектров систем WR + c; как связаны между собой изменения в различных линиях; каково характерное время изменений и др. Хорошо известны периодические изменения интенсивностей и эквивалентных ширин W_λ в двойных системах WR + O. Возникает вопрос о возможности аналогичных вариаций в системах WR + c. Эти изменения могут быть дополнительным аргументом в пользу двойственности той или иной звезды Вольфа — Райе.

Цель наших наблюдений спектров шести звезд Вольфа — Райе в 1984—1985 гг. — выявление переменности спектров и оценка ее характерных параметров; поиск взаимосвязи изменений различных линий; поиск периодических вариаций W_λ .

В [8] представлены основные характеристики аппаратуры, с помощью которой в 1984—1985 гг. проводились наблюдения спектров звезд Вольфа — Райе и двух контрольных звезд. Алгоритм поиска изменений W_λ приведен в Приложении 1. Рассмотрим лишь те случаи переменности, которые прошли данную систему отбора.

HD 191 765. Наблюдения проводились 22/23, 27/28, 29/30, 30/31 августа 1984 г. и 1/2, 3/4, 6/7 августа 1985 г. Результаты измерений W_λ опубликованы в [7]. HD 191 765 (WN6) — возможная двойная система типа WR + c с периодом $P=7.44^d$ [1]. Однако более поздние наблюдения не подтвердили существования этого периода. Одновременно обнаружены вариации блеска $\Delta m \approx 0.02^m$ в нескольких участках спектра в области $\lambda\lambda$ 406.0—426.0 нм [25]. Переменность такого же порядка отмечена при широкополосной фотометрии. На быстрые изменения накладываются вариации с временем порядка нескольких месяцев [13].

В 1984 г., приблизительно за месяц до наших наблюдений, Моффат и Шара [19] выполнили фотометрию HD 191 765 в полосе В и нашли изменения блеска с периодом $P=1.81^d$ и амплитудой $\Delta m=0.02^m$. Нами обнаружен период $P=1.74^d$ по изменениям W_λ в 1984 г. Профили линий в спектре HD 191 765 имеют сложную форму с большим числом тонких деталей, показывающих быструю переменность [1]. Зарегистрированы вариации профилей линий от ночи к ночи с возможными быстрыми изменениями в течение ночи [22].

У HD 191 765 нами зарегистрировано наибольшее (среди шести звезд WR) число случаев переменности W_λ и профилей эмиссионных линий. Характерное время — от 2—3 ч (и даже долей часа) до 1 сут. В течение ночи изменения линий ионов различных стадий ионизации взаимосвязаны приблизительно в 30 % случаев, когда была зарегистрирована переменность. Так, 27/28 августа 1984 г. (*J.D.* 2 445 940) переменны бленда N III λ 451.4 нм + He II λ 454.2 нм и линии N V λ 494.0 нм, He I λ 587.8 нм

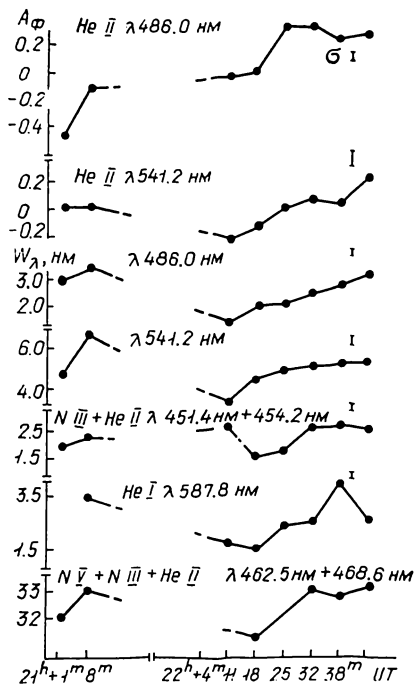


Рис. 1. HD 191 765. 30/31 августа 1984 г.

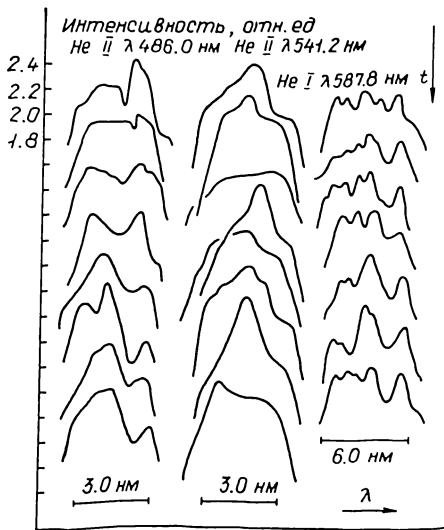


Рис. 2. HD 191 765. Изменения профилей линий 30/31 августа 1984 г.

(вероятности $p_1=99\%$, $p_2=99\%$, $p_3=98\%$ по критерию Фишера). Коррелируют изменения в линиях He II λ 486.0 нм и N V λ 494.0 нм (коэффициент корреляции $r=0.95$, значим с вероятностью $p=95\%$; определение коэффициента корреляции дано в Приложении 1).

29/30 августа 1984 г. (*J.D.* 2 445 942) переменны W_λ линий He II λ 541.2 нм, He I λ 587.8 нм ($p_1=p_2=99\%$ по критерию Фишера). Изменения в линии He I λ 587.8 нм и бленде N III λ 451.4 нм + He II λ 454.2 нм коррелируют ($r=0.98$, $p=98\%$), а в линии λ 494.0 нм и той же бленде антикоррелируют ($r=-0.83$, $p=83\%$). Антикоррелируют также линии λ 587.8 и 494.0 нм ($r=-0.90$, $p=90\%$). Возможно, в случае $r < 0$ мы наблюдаем эффекты запаздывания в распространении возмущения в протяженной атмосфере звезды Вольфа—Райе. Чтобы вызывающее изменения W_λ возмущение за доли часа могло охватить оболочку размером 5—15 R_\odot , скорость распространения возмущающего агента должна быть сопоставима со скоростью света.

Рассмотрим наблюдения 30/31 августа 1984 г. (*J.D.* 2 445 943) (рис. 1). За время порядка 1 ч произошло уменьшение эквивалентных ширин линий, сменившееся их постепенным увеличением, причем приблизительно одинаковое поведение W_λ показывали линии, формирующиеся в различных частях протяженной оболочки. О степени взаимосвязи изменений в линиях можно судить по корреляционной матрице (таблица). В таблице приведены значения r_{xy} (Приложение 1) для W_λ нескольких линий. Возможно, синхронное изменение W_λ обусловлено увеличением потока в континууме. В линиях, входящих в полосу В, это изменение составило около 10 % среднего потока в линиях. У HD 191 765 вклад эмиссионных линий в полосу В составляет примерно 50 % потока в континууме [20]. Поэтому достаточно увеличения блеска в континууме на $\Delta m \lesssim 0.05^m$ за время $\Delta t \sim 1/2$ часа, чтобы вызвать подобные изменения W_λ .

К дополнительному уменьшению W_λ может привести появление абсорбционного компонента в центральных частях профилей некоторых линий. Подобный эффект отмечался ранее в [14]. Наиболее ярко он выражен у линии He II λ 486.0 нм (рис. 2). Следовательно, при наблюдениях в системе U, B, V подобное явление выглядит как небольшое ($\Delta m \leq 0.05^m$) увеличение потока в полосах B, V за время порядка 1 ч. Вариации W_λ сопровождаются изменениями асимметрии линий He II $\lambda\lambda$ 486.0 и 541.2 нм (определение асимметрии A_ϕ дано в Приложении 2). Изменение знака A_ϕ соответствует перемещению максимума излучения в линии в коротковолновую область, т. е. распространению возбуждающего агента к наблюдателю. Очевидно, что линии, формирующиеся во внешних частях оболочки, реагируют на вспышку в континууме с некоторым опозданием. Действительно, увеличение центрального эмиссионного компонента профиля линии He I λ 587.8 нм начинается примерно через 1/3 часа после минимума W_λ (рис. 2).

Корреляционная матрица изменений эквивалентных ширин линий HD 191 765 за 30/31 августа 1984 г. (восемь спектрограмм)

Номер линии	Отождествление	Номер линии				
		1	2	3	4	5
1	N III λ 451.4 нм + He II λ 454.2 нм	—	—	—	—	—
2	(N V + N III) λ 462.5 нм + He II λ 468.6 нм	0.85	—	—	—	—
3	He II λ 486.0 нм	0.12	0.80	—	—	—
4	N V λ 494.0 нм	-0.04	0.30	0.68	—	—
5	He II λ 541.2 нм	0.04	0.81	0.88	0.58	—
6	He I λ 587.8 нм	0.43	0.64	0.69	0.25	0.68

Изменения эквивалентных ширин HD 191 765 от ночи к ночи также взаимосвязаны. Поэтому проведен поиск периодических изменений W_λ (18 спектров в течение восьми ночей 1984 г.) в интервале $P=0.01-10^d$. После исключения ложных периодов по методу Диминга обнаружен наиболее вероятный период $P=1.74 \pm 0.38^d$ вариаций W_λ бленды λ 451.4 + λ 454.2 нм и линий He II $\lambda\lambda$ 486.0, 541.2 нм. По данным 1985 г. периодичность изменений W_λ не обнаружена. Не исключено наличие $P \approx 7.5^d$. Так как наблюдения 1984 г. распределены на интервале $D=8^d$, уверенно подтвердить существование периода $P=7.44^d$ невозможно из-за близости P и D . Интересующий нас участок амплитудно-частотного спектра и спектральное окно Диминга представлены на рис. 3, а изменения W_λ с периодом $P=1.74^d$ — на рис. 4. Так как HD 191 765 — предполагаемая система типа WR + c, то поведению W_λ 30/31 августа 1984 г. можно дать альтернативное объяснение, предполагив, что эффект связан с прохождением перед звездой WR аккреционного диска компактного объекта. Если суммарная масса системы $M_\Sigma \sim 20 M_\odot$ (среднее значение $M_{WR} \sim 20 M_\odot$ по наблюдениям систем WR + OB, масса нейтронной звезды $M \sim 1 M_\odot$), то размер оптически плотной части аккреционного диска $r \sim 0.3 R_\odot$ для $P=1.74^d$, нулевого эксцентриситета и длительности затмения около 1 ч. Очевидно, что для выбора между двумя моделями поведения W_λ необходимы дополнительные наблюдения с высоким временным разрешением.

Определение асимметрии профилей линий у HD 191 765 показывает, что форма профилей линий He II $\lambda\lambda$ 486.0 и 541.2 нм переменна от ночи к ночи и в течение ночи. Изменения A_ϕ , как правило, не взаимосвязаны, за исключением 30/31 августа 1984 г. В общем случае вариации A_ϕ не коррелируют и с изменениями W_λ от ночи к ночи, т. е. нет прямой связи между изменениями потока в линии и изменениями формы профиля линии. Средние значения A_ϕ за весь период наблюдений: A_ϕ (He II λ 486.0 нм) = -0.104 ± 0.195 ; A_ϕ (He II λ 541.2 нм) = -0.021 ± 0.116 .

Быстрые изменения профилей линий, их многокомпонентная структура могут быть косвенным подтверждением наличия компактного объекта. Наблюдения звезды HD 50 896, в настоящее время наиболее уверенно отождествляемой с системами WR + c, подтверждают это [16]. Быстрая переменность многокомпонентных профилей линий обнаружена и у HD 16 523 [11]. Поэтому весьма перспективен поиск периодических изменений в спектре HD 16 523.

HD 193 077. Наблюдения проводились 22/23, 25/26, 27/28, 29/30, 30/31 августа и 5/6 октября 1984 г., а также 26/27 июня, 1/2, 3/4, 6/7 августа 1985 г. Основные результаты измерений W_λ даны в [7]. HD 193 077 — одна из 15 галактических звезд WR с абсорбционными деталями в спектре. Возможно, система является тройной: WN5+c с периодом $P=2.32^d$, третий компонент — звезда OB, обращающаяся вокруг пары WR+c с периодом $P=1763^d$ [18]. С существованием третьего компонента связывается обнаруженная [12] крупномасштабная переменность спектра HD 193 077 с характерным временем около 600^d . При этом изменения линий He II λ 468.6 нм

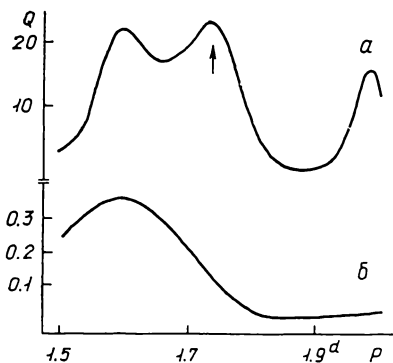
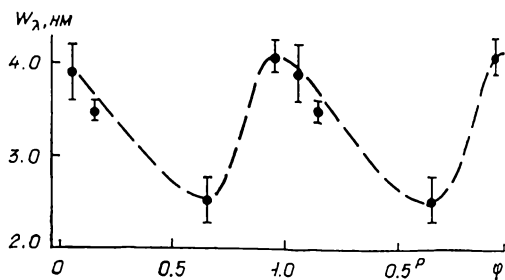


Рис. 3. HD 191 765: а — амплитудно-частотный спектр измененной эквивалентной ширины линии He II λ 486.0 нм; б — спектральное окно Диминга для данной линии

Рис. 4. HD 191 765. Изменения эквивалентной ширины линии He II λ 486.0 нм с периодом $P=1.74^d$



N IV λ 405.7 нм коррелированы [12]. В то же время результаты широкополосной фотометрии (полоса B) не подтверждают существования периода $P=2.32^d$. Более вероятно $P=11.6^d$ [19].

По результатам наших исследований переменность W_λ от ночи к ночи не превышает ошибок наблюдений. Обнаружены вариации W_λ (He II λ 454.3 нм + N III λ 451.8 нм) 29/30 августа 1984 г. ($J.D.$ 2 445 942) с вероятностью $p=98\%$ по критерию Фишера. 27/28 августа 1984 г. ($J.D.$ 2 445 940) переменны W_λ сразу нескольких линий и бленд: N III λ 451.8 нм + He II λ 454.3 нм ($p=95\%$), He II λ 468.6 нм ($p=99\%$), He II λ 541.2 нм ($p=90\%$). Одновременно с вариациями W_λ (λ 468.6 нм) происходили изменения асимметрии линии He II λ 468.6 нм (рис. 5). Изменения в линиях 27/28 августа коррелируют слабо. Возможны две причины слабой взаимосвязи: первая — различия в физических условиях формирования линий; вторая — некоторый вклад погрешностей калибровки (Приложение 1). В спектрах за 27/28 августа найден корреляция между W_λ линий и плотностью почернения T прилегающих участков континуума. Но вероятность взаимосвязи изменений W_λ и T низка ($p=72-78\%$ по критерию [9]). В остальные ночи переменность не превышает ошибок наблюдений.

Как и следует из вида профиля He II λ 468.6 нм [23], асимметрия линии невелика и положительна. Среднее значение по всем наблюдениям: $A_\phi=0.026\pm 0.037$. От ночи к ночи вариации отсутствуют. В течение ночи значимые ($p=98\%$ по критерию Фишера) изменения A_ϕ зафиксированы 27/28 августа 1984 г. Проведен поиск периодических вариаций W_λ и A_ϕ в пределах $P=0.01-20^d$. Наблюдения (16 спектрограмм) распределены на интервале $D=43^d$. После селекции ложных периодов обнаружен наиболее вероятный $P=2.39\pm 0.13^d$ по изменениям эквивалентных ширин линии He II λ 468.6 нм и бленды N III λ 451.8 нм + He II λ 454.3 нм.

Возможно, периодические вариации W_λ обусловлены наличием компактного спутника. Отметим до некоторой степени аналогичное HD 191 765 поведение линий у HD 193 077 27/28 августа 1984 г.: изменяются W_λ нескольких линий, вариации W_λ (He II λ 468.6 нм) сопровождаются изменениями формы профиля. Но эти эффекты выражены не так ярко, как у HD 191 765. В целом уровень активности HD 193 077 значительно ниже, чем у HD 191 765.

HD 192 163. Эта звезда (WN6) — возможная двойная система типа WR+c с периодом $P=4.55^d$ [2, 3]. Широкополосные наблюдения звезды показывают переменность

мало масштаба $\Delta t \leq 0.03^m$ [21] либо отсутствие изменений блеска [4, 15, 19, 26]. Сообщения об изменениях спектра HD 192 163 весьма противоречивы [10, 14, 17, 22]. При выполнении программы поиска нерадиальных колебаний звезд WR у HD 192 163 обнаружены вариации лучевых скоростей с периодом $P=0.31^d$ либо $P=0.45^d$ [24]. Мы наблюдали HD 192 163 лишь в 1985 г.—26/27 июня и 1/2, 3/4, 6/7 августа. Частично переменность обусловлена погрешностями калибровки. Так, 3/4 августа 1985 г.

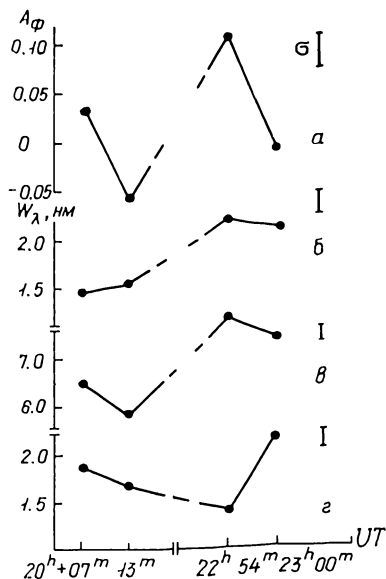
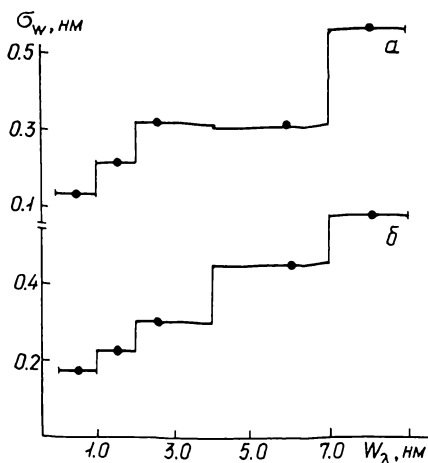


Рис. 5. HD 193 077. Вариации асимметрии A_ϕ линии He II λ 468.6 нм (а) и эквивалентных ширин линий W_λ 27/28 августа 1984 г.; N V λ 460.44 нм + N III λ 463.5 нм (б); He II λ 468.6 нм (в); He II λ 541.2 нм (з)

Рис. 6. Зависимость ошибки единичного определения эквивалентной ширины линии σ_W от значения эквивалентной ширины W_λ : а — в течение ночи; б — от ночи к ночи (см. Приложение 1)



(J.D. 2 446 281) обнаружена значимая ($p=99.9\%$) корреляция между W_λ (N III λ 451.4 нм + He II λ 454.2 нм) и плотностью почернения негатива в области прилегающего к линии континуума. Так как общее число спектрограмм невелико, мы не обсуждаем фактов переменности W_λ линий у этой звезды в 1985 г.

Были измерены асимметрии линий He II $\lambda\lambda$ 486.0 и 541.2 нм. В 1985 г. изменения формы профиля He II λ 486.0 нм не обнаружены: $A_\phi = 0.021 \pm 0.055$.

Таким образом, точность определения A_ϕ (λ 486.0 нм) у HD 192 163 может быть эталоном при оценке достоверности изменений A_ϕ (λ 486.0 нм) у HD 191 765. Видно, что $\sigma(A_\phi)$ для линии λ 486.0 нм у HD 191 765 приблизительно в четыре раза выше, чем $\sigma(A_\phi)$ соответствующей линии у HD 192 163. Значительные изменения профиля линии He II λ 541.2 нм у HD 192 163 зарегистрированы только в одном спектре и не сопровождаются переменностью в линии He II λ 486.0 нм: $A_\phi(\lambda$ 541.2 нм) = 0.006 ± 0.122 .

Выводы. У трех предполагаемых систем WR+c обнаружены значительные различия в поведении спектров. Переменность у HD 192 163 и HD 193 077 имеет эпизодический характер. Так, у HD 193 077 она зарегистрирована лишь в одну ночь. Отмечена возможность существования периода $P=2.39 \pm 0.13^d$ по изменениям эквивалентных ширин двух линий (16 спектрограмм, интервал наблюдений 43^d). У HD 192 163 изменения формы профилей линий He II $\lambda\lambda$ 486.0 и 541.2 нм меньше порога чувствительности нашей аппаратуры.

В отличие от этих двух звезд HD 191 765 — наиболее активная среди шести наблюдавшихся звезд WR. Приблизительно в 30 % случаев переменности обнаружена корреляция между изменениями W_λ линий ионов различных стадий ионизации. Подобное согласованное изменение W_λ могут обеспечить два механизма: увеличение потока

в континууме или прохождение аккреционного диска перед звездой WR. В настоящее время трудно отдать предпочтение какой-либо из двух возможностей. По изменениям W_λ трех линий в 1984 г. найден $P=1.74\pm 0.38^d$ (18 спектрограмм за восемь дней). Не исключено существование периода $P\approx 7.5^d$, однако данных для его подтверждения явно недостаточно. Линии He II $\lambda\lambda$ 486.0, 541.2 нм демонстрируют быстрые изменения асимметрии с временем порядка нескольких часов. Периодические вариации W_λ ряда линий у HD 191 765 могут косвенно свидетельствовать о ее принадлежности к системам типа звезда Вольфа — Райе + компактный спутник.

Приложение 1

Поиск переменности эквивалентных ширин линий в спектрах звезд Вольфа — Райе. Известно, что ошибка единичного измерения эквивалентной ширины (σ_W) зависит от значения W_λ [5]. В [8] мы определили σ_W для диапазона $W_\lambda = 1-3$ нм. При поиске вариаций W_λ у звезд WR для $W_\lambda < 1$ нм и $W_\lambda > 3$ нм мы вынуждены образовать систему «вторичных стандартов» из самих звезд WR. Очевидно, что из-за возможной переменности W_λ «стандартных» звезд WR получаем завышенные значения σ_W (у стандартов), которые затем используются для поиска переменности «нестандартных» звезд WR. Это ведет лишь к повышению надежности статистических выводов.

Процедура поиска переменности эмиссионных линий у звезд WR состояла в следующем. После обработки всех наблюдений вычислялись средние за ночь значения эквивалентных ширин $\bar{W}_{\lambda i}$ и соответствующие ошибки единичного измерения σ_W . Нам известны σ_W для $W_\lambda = 1-3$ нм по наблюдениям контрольных звезд [8]. Все эквивалентные ширины звезд WR в диапазоне 1—3 нм проверены по критерию Фишера для выявления вариаций W_λ , превышающих ошибки наблюдений. Аналогичная проверка проведена для вариаций W_λ от ночи к ночи. Для этого вычислены средние за ночь $\bar{W}_{\lambda i}$, средние за год \bar{W}_λ и по ним найдены σ_W (от ночи к ночи). Затем была образована система «вторичных стандартов» из звезд WR. В нее вошли звезды, показавшие минимальную активность в диапазоне $W_\lambda = 1-3$ нм; в основном HD 192 641, HD 192 103 и частично HD 193 077, HD 193 576. Таким образом, границы поиска переменности W_λ расширились до пределов $W_\lambda = 1-9$ нм. Зависимости $\sigma_W = f(W_\lambda)$ в течение ночи и от ночи к ночи приведены на рис. 6.

После первичного отбора (по критерию Фишера) всех случаев переменности W_λ в диапазоне 1—9 нм проводился дальнейший отбор. Очевидно, что в переменность линий могут внести вклад систематические ошибки, возникающие в процессе записи спектров, перевода записей из почернений в интенсивности (погрешности калибровки) и др. Для обнаружения подобных эффектов проведен анализ взаимосвязи изменений W_λ от ночи к ночи у следующих пар звезд: HD 192 103 и HD 192 641; HD 193 576 и HD 193 077; HD 193 576 и HD 191 765; HD 193 077 и HD 191 765. Использована стандартная процедура оценки значимости коэффициента корреляции r_{xy} [9]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}},$$

где $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i/n$, $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i/n$ — выборочные средние. В нашем случае в качестве x_i и y_i

фигурируют эквивалентные ширины двух линий, а \bar{x} и \bar{y} — средние значения W_λ за ночь или за сезон. Обнаружение значимого r_{xy} показывает, что погрешности калибровки вносят больший вклад в σ_W , чем собственная переменность W_λ . Подобные случаи из рассмотрения исключались.

Погрешности калибровки могут привести к зависимости W_λ конкретной линии в течение ночи от плотности почернения T в данной линии (в частности, в максимуме интенсивности линии) либо в близлежащем континууме. Это произойдет, если полученные за ночь спектрограммы имеют различные плотности почернения, а характеристические кривые построены с погрешностями. В случае обнаружения значимой корреляции $W_\lambda = f(T)$ дальнейший анализ переменности не проводился.

Приложение 2

Асимметрия профилей линий определялась следующим образом. Профиль спектральной линии от $0.5 I_{\max}$ до I_{\max} делился параллельными линиями с шагом $\Delta I = 0.02 I_{\max}$. Определялись значения длин волн (λ_k), соответствующие точкам пересечения параллельных секущих с профилем линии (внешним обводом в случае сложного профиля). Асимметрия вычислялась по известной формуле [6]:

$$A_{\phi} = m_3/m_2^{3/2}, \text{ где } m_r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\lambda_k - \bar{\lambda})^r; \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \lambda_k.$$

A_{ϕ} определялась лишь по вершинам профилей, чтобы избежать эффектов блендирования. Очевидно, что $A_{\phi} > 0$ соответствует профилю линии с максимумом излучения, смещенным в коротковолновую часть профиля.

1. Антохин И. И., Асланов А. А., Черепашук А. М. HD 191 765 — возможная двойная звезда Вольфа — Райе с маломассивным спутником // Письма в Астрон. журн.— 1982.—8, № 5.— С. 290—296.
2. Антохин И. И., Черепашук А. М. Звезды Вольфа — Райе с возможными релятивистскими спутниками. Кривые блеска и орбитальные периоды WN-звезд — HD 187 282 и HD 192 163 // Там же.— 1985.—11, № 11.— С. 838—845.
3. Асланов А. А. Периодическая переменность блеска звезды Вольфа — Райе HD 192 163, связанной с кольцевой туманностью // Астрон. циркуляр.— 1982.— № 1238.— С. 5—8.
4. Бродская Э. С. Электрофотометрические наблюдения четырех звезд сверхгигантов и двух звезд Вольфа — Райе // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1951.—6.— С. 84—104.
5. Копылов И. М., Сомов И. Н., Сомова Т. А. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс-сканер БТА. III. Автоматизированная экспрессная обработка звездных спектров // Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.— 1986.—22.— С. 77—88.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1978.—832 с.
7. Марченко С. В. Спектральная переменность звезд типа Вольфа — Райе.— Киев, 1987.—26 с.— (Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-87-55Р).
8. Марченко С. В. Спектральная переменность звезд Вольфа — Райе. I. Исследование аппаратурного комплекса // Кинематика и физика небес. тел.— 1988.—4, № 1.— С. 47—50.
9. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике.— М.: Финансы и статистика, 1982.—272 с.
10. Нугис Т., Евсеенко Т. Электрофотометрия эмиссионных линий $\lambda\lambda$ 4686, 4861, 5411 звезды типа Вольфа — Райе HD 192 163 // Астрон. циркуляр.— 1971.— № 664.— С. 3—5.
11. Рустамов Д. Н., Черепашук А. М. Звезда Вольфа — Райе с усиленными линиями кислорода HD 16 523 // Письма в Астрон. журн.— 1986.—12, № 5.— С. 373—379.
12. Annik K. Spectroscopic observations of the Wolf — Rayet binary HD 193 077 // Observations of emission-line stars.— Tallinn, 1985.— P. 7—19.
13. Antokhin I. I., Volkov I. M. New photometry of the Wolf — Rayet star HD 191 765 // Commis. 27 IAU Inform. Bull. Var. Stars.— 1987.— N 2973.— P. 1—4.
14. Vappu M. K. V. A spectroscopic study of Wolf — Rayet stars // Astron. J.— 1951.— 56, N 5.— P. 120—121.
15. Demers S., Fernie J. D. Photometry of Wolf — Rayet stars // Publ. Astron. Soc. Pacif.— 1964.—76, N 452.— P. 350—351.
16. Ebbets D. The variable emission-line spectrum of HD 50 896: WN5 // Ibid.— 1979.— 91, N 544.— P. 804—816.
17. Koenigsberger G., Firmani C., Bisiacchi G. F. Spectral variations of HD 192 163 // Rev. mex. astron y astrofis.— 1980.—5, N 1.— P. 45—49.
18. Lamontagne R., Moffat A. F. J., Koenigsberger G., Seggewiss W. The Wolf — Rayet star HD 193 077: evidence for a low-mass companion and the possibility of a third body // Astrophys. J.— 1982.—253, N 1.— P. 230—236.
19. Moffat A. F. J., Shara M. M. Photometric variability of a complete sample of northern Wolf — Rayet stars // Space Telesc. Sci. Inst. Prepr. Ser.— 1986.— N 115.— P. 1—96.
20. Pypser D. M. The effective temperatures of Wolf — Rayet stars as derived from their UVB color indices corrected for emissions // Astrophys. J.— 1966.—144, N 1.— P. 13—24.
21. Ross L. M. Variability in Wolf — Rayet stars // Publ. Astron. Soc. Pacif.— 1961.— 73, N 434.— P. 354—357.
22. Smith L. F., Kuhl L. V. Wolf — Rayet stars. IV. Line intensities in the spectra of two WN6 stars // Astrophys. J.— 1970.—162, N 2.— P. 535—545.

23. *Smith L. F., Kuhl L. V.* An atlas of Wolf — Rayet line profiles // Joint Inst. Lab. Astrophys. Rep.— 1981.— N 117.— P. 1—50.
24. *Vreux J.-M., Andriat Y., Gosset E.* HD 192 163 variability revisited: a very short period WR binary or a pulsating star? // Astron. and Astrophys.— 1985.— 149, N 2.— P. 337—342.
25. *Vreux J.-M., Manfroid J.* Photometry of the Wolf — Rayet star HD 191 765 // Com. mis. 27 IAU Inform. Bull. Var. Stars.— 1985.— N 2821.— P. 1—2.
26. *Wallerstein G. A.* Search for rapid light variations in Wolf — Rayet stars // Publ. Astron. Soc. Pacif.— 1968.— 80, N 454.— P. 482—483.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 09.07.87,
после доработки 25.12.87

РЕФЕРАТ ПРЕПРИНТА

УДК 523.94

SPANSAT: ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОФИЛЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В ЗВЕЗДНЫХ АТМОСФЕРАХ В ЛТР ПРИБЛИЖЕНИИ / Гадун А. С., Шеминова В. А.

(Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-88-87Р)

Базовая модификация программы SPANSAT (Spectral analysis of the stellar atmospheres) предназначена для анализа спектральных линий поглощения Солнца и звезд в приближении ЛТР. Она составлена на основе нескольких широко применяемых в ГАО АН УССР программ аналогичного класса и является их естественным обобщением. Для упрощения работы пользователя, а также существенного расширения круга задач, которые могут быть решены, SPANSAT снабжена обширной системой сервисного обеспечения: 1) имеет свой язык управления, значительно упрощающий ввод управляющей информации; 2) не требует задания входных данных в строго определенных форматных представлениях; 3) не зависит от вида задания параметров одномерной плоскопараллельной модели атмосферы; 4) в программе реализована адаптивная процедура выбора оптимальной шкалы длин волн при расчете профиля линии, что позволяет контролировать точность вычисления эквивалентных ширин линий; 5) в ней предусмотрены возможности использования внешних носителей для ввода и (или) размещения информации, что позволяет применять ее в информационных системах.

В рамках приемлемых ограничений принятого формализма математического описания физических процессов программа SPANSAT позволяет решать следующие задачи (как в комплексе, так и отдельно): расчет профиля линии поглощения с учетом изотропных моделей микро- и макротурбулентности; поиск содержания химических элементов (сил осцилляторов) по согласованию вычисленных и наблюдаемых эквивалентных ширин и (или) центральных интенсивностей при известных силах осцилляторов (содержании); определение эффективной глубины формирования отдельных точек профиля линии и средней эффективной глубины формирования всей линии.