

УДК 524.316:520.84-74

## СПЕКТРОСКОПИЯ ЗВЕЗД В НАЗЕМНОМ УЛЬТРАФИОЛЕТЕ. III: ХРОМОСФЕРЫ И ОБОЛОЧКИ ХОЛОДНЫХ ЗВЕЗД

© 2010 В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, М. В. Юшкин

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 20 января 2009 г.; принята в печать 3 июля 2009 г.

В историческом плане рассмотрены избранные задачи исследования звездных хромосфер и околозвездных оболочек методами спектроскопии в наземном ультрафиолете. В качестве иллюстраций приведены, в частности, фрагменты спектров, полученных авторами на 6-м телескопе.

Ключевые слова: *звезды — свойства, классификация*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Мы продолжаем публикации [1–3], объединяемые техникой и результатами наблюдений звезд в наземном ультрафиолете. В данной работе перечислим избранные исследования хромосфер и околозвездных оболочек холодных звезд.

Возможность наблюдать спектры звездных хромосфер в наземном ультрафиолете основана на двух обстоятельствах. Во-первых, с понижением эффективной температуры поток в виоветской области спектра быстро снижается. Во-вторых, большое число абсорбционных линий, формирующихся в атмосфере, блокирует фотосферное излучение, и доля хромосферного излучения возрастает. Отсюда следует, что в коротковолновом диапазоне могут быть участки, где хромосферное излучение преобладает над излучением фотосферы.

Исторически наблюдения звездных хромосфер начались с резонансного дублета H и K CaII, как продолжение работ по спектроскопии солнечной хромосферы.

### 2. ХРОМОСФЕРНЫЕ ЛИНИИ H и K CaII

Спектроскопия в ядрах дублета предъявляет повышенные требования к уровню рассеянного света в спектрографе, т.к. поток в ядрах этих линий составляет несколько процентов от потока в континууме, например, 4% в ядре K CaII в спектре Солнца. По этим причинам задача спектроскопического измерения хромосферной эмиссии в большинстве случаев является предельной, несмотря на то, что исследуются относительно яркие звезды.

Систематические наблюдения резонансного дублета H и K CaII в спектрах звезд были начаты еще на трехпризменном спектрографе,

установленном на 152-см и 254-см телескопах [4]. Призмы из легкого флинта в сочетании с одной из четырех линзовых камер позволили исследовать ядра дублета как у сверхгигантов, так и у карликов. В каталоге [5] уже насчитывалось 426 звезд с эмиссией в линиях H и K CaII. Вскоре был открыт эффект Вилсона-Баппу, согласно которому интенсивность эмиссии коррелирует с абсолютной величиной, причем это соотношение не зависит от спектрального класса [6, 7]. Было выполнено несколько наблюдательных программ, с целью выяснения статистических закономерностей, связывающих свойства хромосфер с другими характеристиками звезд. Так, на короткофокусной ( $F = 22$  см) камере спектрографа кудэ 5-м телескопа с дисперсией  $38 \text{ \AA}/\text{мм}$  были исследованы звезды рассеянных скоплений [8]. У звезд главной последовательности была обнаружена корреляция интенсивности эмиссий и возраста рассеянного скопления. Это явление интерпретировалось как ослабление хромосферной активности с увеличением возраста звезды. Для измерения эмиссии в ядрах линий H и K CaII 2.5-м телескоп был оснащен специализированным 2-канальным сканером [9], в котором использовалась длиннофокусная ( $F = 285$  см) камера спектрографа кудэ.

Признаки ослабления хромосферной активности с возрастом были получены в [10], где для 325 звезд сделаны сравнения интенсивности эмиссий и параметров галактических орбит. Звезды с сильной эмиссией имеют круговые орбиты с небольшим наклоном к галактической плоскости. Звезды со слабой эмиссией имеют большие эксцентриситеты орбит и большие углы наклона орбит.

Проверка гипотезы нагрева хромосферы потоком механической энергии, идущей от конвективной зоны, сделана в [11]. При продвижении по ГП в

сторону холодных звезд все бóльшая часть энергии переносится конвекцией. Если доля этой энергии, конвертируемая в хромосферную эмиссию, не изменяется, то более холодные звезды ГП должны излучать повышенную эмиссию. Была выполнена проверка гипотезы на звездах Гиад. Эмиссия измерялась в единицах уровня локального континуума. В ходе наблюдений обнаружена переменность потока эмиссии в пределах изменения  $V-V$  от 0.45 до 1.25.

Для касегреновского фокуса 1.5-м телескопа обсерватории Маунт Вилсон был разработан четырехканальный фотоэлектрический спектрометр [12]. Опорные полосы сравнения шириной по  $20 \text{ \AA}$  были центрированы на 3901 и  $4001 \text{ \AA}$ . Ширина полосы, в которой измерялась эмиссия, составляла  $1 \text{ \AA}$ . В течение десяти лет проводился мониторинг 91 звезды главной последовательности в интервале спектральных классов F–M2 [13]. В качестве стандартов были выбраны звезды с минимальной хромосферной активностью. Была обнаружена переменность интенсивности эмиссии, но выявить цикличность, аналогичную цикличности солнечной активности, не удалось.

В [14] проанализированы потоки в полосе шириной  $1 \text{ \AA}$ , измеренные для 486 звезд в окрестностях Солнца, и был сделан вывод, что хромосферная активность резко понижается при достижении возраста около  $10^9$  лет. Предположения о связи активности с возрастом появлялись со времен пионерской работы [8], но связь уровня хромосферной эмиссии с возрастом впервые продемонстрирована в [15]. Если аппроксимировать эту связь степенным законом, и при этом интерпретировать хромосферную эмиссию только как возрастной индикатор, то получим численность молодых звезд, намного превосходящую численность, определенную по изохронам. Т.е. возрасты, определяемые по изохронам, отличаются от “хромосферных” возрастов. В [16] этот избыток возраста был связан с металличностью  $[\text{Fe}/\text{H}]$ .

На рис. 1 приведены фрагменты спектрограмм, полученных на НЭС БТА в области ядер резонансного дублета CaII звезд разных спектральных классов. Видны эмиссионные детали K2V ( $3933.2 \text{ \AA}$ ), K2R ( $3933.6 \text{ \AA}$ ) и самопоглощение на  $3933.4 \text{ \AA}$ , имеющие хромосферное происхождение. Из рис. 1 следует, что измерения интегрального потока в полосе шириной  $1 \text{ \AA}$  захватывают значительную часть излучения, формирующегося вне хромосферы.

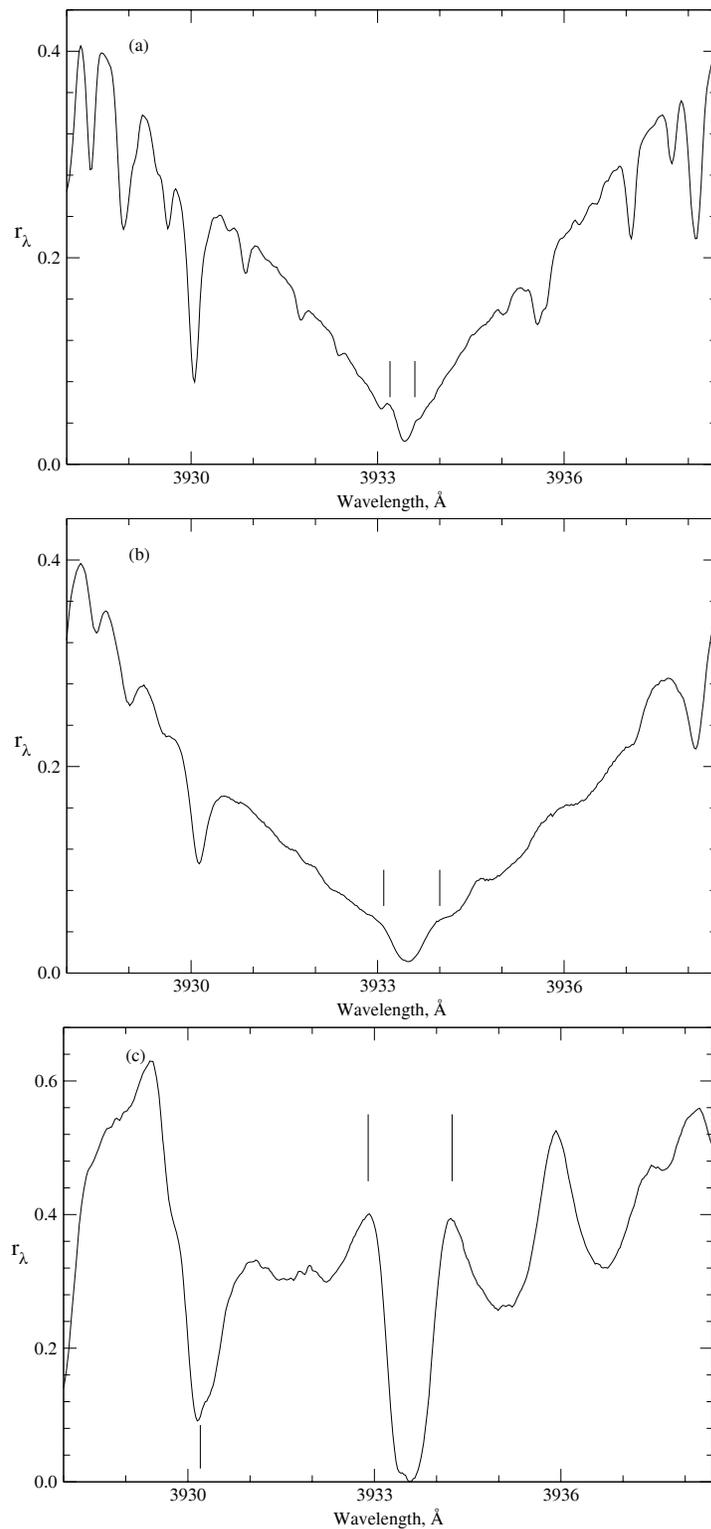
Спектроскопические исследования эмиссии в ядрах линий H и K CaII в спектре Солнца [17] показали, что амплитуда интегрального (в полосе

шириной  $0.5 \text{ \AA}$ ) индекса хромосферной активности намного больше амплитуды фотоэлектрического индекса в методе Вогана и Престона [12], измеряемого в полосе шириной  $1 \text{ \AA}$ . Следовательно, спектроскопический мониторинг ядер линий H и K CaII может существенно уточнить картину, полученную ранее по фотоэлектрическим измерениям. Спектроскопические наблюдения, выполненные на CES ESO с разрешением  $R = 60\,000$  и отношением сигнал/шум  $100 > S/N > 30$  для звезд, у которых параллаксы известны с точностью не менее 10%, позволили выполнить новую калибровку эффекта Вилсона–Баппу [18].

Интересной задачей является поиск связи между хромосферной активностью и конвекцией. При исследовании активных областей на поверхности Солнца выяснилось, что бисектор линии FeI в спектрах пятна — области с большим магнитным потоком и подавленным конвективным переносом излучения, отличается от бисектора линии, зарегистрированной от спокойной области [19]. Асимметрия не зависит от фактора Ланде используемой линии. В спектре Солнца, асимметрия линий поглощения уменьшается с ростом активности [17], т.е. увеличение площади активных областей, где конвекция подавлена, обнаруживается и по изменениям асимметрии линий в интегральном спектре. Задача измерения асимметрии линий, связанной с конвективными движениями вещества, в спектрах ярких звезд является предельной, т.к. требует спектрального разрешения не ниже  $R = 10^5$ .

Итак, наблюдения в линиях H и K CaII желательно сочетать с наблюдениями неблендированных линий в красной области спектра. Поскольку излучение в линиях H и K CaII может быть индикатором хромосферной активности, его полезно сравнивать с излучением в линии  $H_{\alpha}$ . В [20] показано, что асимметрия линий в спектрах малометаллических звезд выражена сильнее чем у звезд такого же спектрального подкласса и класса светимости, имеющих солнечную металличность. Этот факт полезно сравнить с указаниями на ослабление эмиссий H и K CaII у старых звезд.

Предельной задачей является и измерение линейной поляризации эмиссионных компонент H и K CaII. В [21] рассмотрены механизмы формирования линейной поляризации, наблюдаемой при широкополосных фотометрических измерениях холодных звезд, и предложены наблюдательные тесты. В частности, степень линейной поляризации эмиссий H и K CaII должна показывать двойную волну при прохождении активной области от одного края лимба к другому, тогда как интенсивность эмиссии показывает при этом одинарную волну. Эффект модуляции линейной поляризации осевым вращением звезды должен быть сильнее выражен



**Рис. 1.** (а) Центральная часть профиля линии К CaII в спектре 16 Cyg A (G 1.5 Vb), звезды-аналога Солнца. Штрихами отмечены остатки эмиссионного хромосферного профиля, K2V 3933.2 Å и K2R 3933.6 Å. (б) Центральная часть профиля линии К CaII в спектре α UMi (F 7 Ib-IVar). Отмечены остатки эмиссионного хромосферного профиля K2V 3933.1 Å и K2R 3934.0 Å, “размытые” вследствие макротурбулентных движений. (с) Центральная часть профиля линии К CaII в спектре α Ori (M 2 Iab). Отмечены компоненты K2V 3932.9 Å и K2R 3934.2 Å, имеющие практически равную интенсивность. Профиль самопоглощения в хромосфере расположен симметрично относительно эмиссионного профиля. Отмечен узкий компонент линии 3930.2 Å, сформированный в околосредней оболочке. Спектры получены на НЭС БТА.

в участках спектра, перегруженных насыщенными магниточувствительными линиями, т.е. в фиолетовой и ультрафиолетовой областях спектра.

### 3. ЭМИССИЯ FeII в СПЕКТРАХ М-СВЕРХГИГАНТОВ

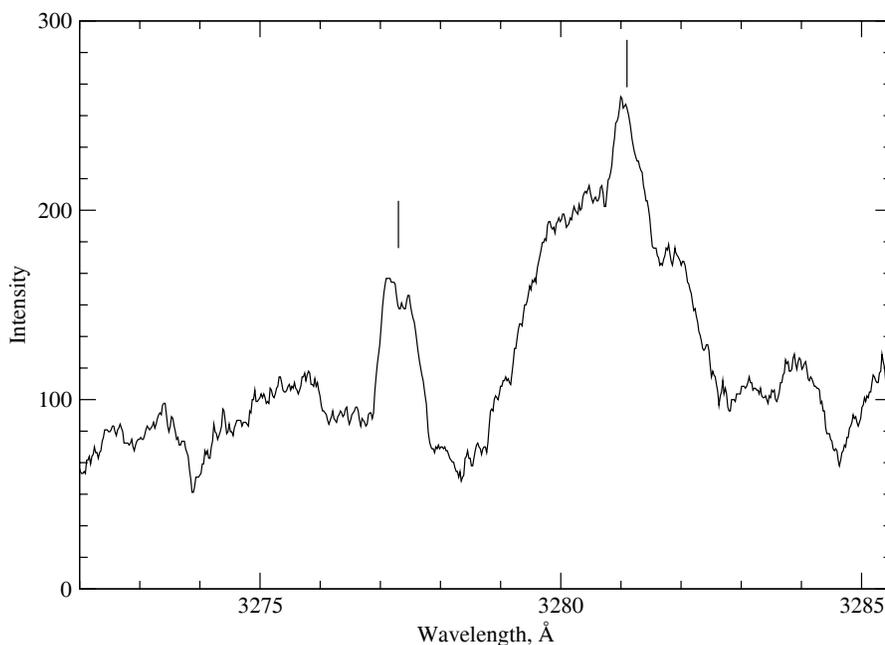
История исследования эмиссий других элементов в ультрафиолетовых спектрах холодных звезд начинается с работы [22], где по наблюдениям на кварцевом спектрографе 2.1-м телескопа McDonald с дисперсией  $16 \text{ \AA}/\text{мм}$  вблизи  $3200 \text{ \AA}$  в спектрах  $\alpha \text{ Her}$  (M5 II) и  $\alpha \text{ Sco}$  (M1 Ib), в диапазоне  $3150\text{--}3300 \text{ \AA}$  обнаружены эмиссионные линии FeII с потенциалами возбуждения от 4.7 до 5.6 эВ. В спектрах более горячих звезд (K2III и K4III) эти эмиссии не обнаружены. Было сделано предположение о корональной природе эмиссий. Эти же эмиссионные линии в спектрах  $\alpha \text{ Ori}$  (M2 Iab) и  $\beta \text{ Peg}$  (M2 II–III) отмечены в [5]. После ввода спектрографа в фокусе кудэ 3-м телескопа с обратной линейной дисперсией  $D = 2 \text{ \AA}/\text{мм}$  вблизи  $3200 \text{ \AA}$  были исследованы эмиссии у  $\alpha \text{ Ori}$  (M2 Iab),  $\delta^2 \text{ Lyg}$  (M4 II),  $\rho \text{ Peg}$  (M4 II–III), R Lyg (gM5), 30 Her (gM6), мириды W And (M7–S8) и углеродной звезды 19 Psc (C6) [23]. Лучевые скорости эмиссий в пределах ошибок измерения согласуются со скоростями, измеренными по абсорбциям. У  $\beta \text{ Peg}$  сильные линии имеют ширину около  $0.4 \text{ \AA}$ , у  $\alpha \text{ Ori}$  эти линии еще шире –  $0.8 \text{ \AA}$ , т.е. ширина эмиссий коррелирует со светимостью [23]. Широкие эмиссионные линии в спектре  $\alpha \text{ Ori}$  исследованы в [24]. Линии FeII 3185.3, 3186.7, 3193.8, 3196.1, 3210.4, 3227.7, 3277.3  $\text{ \AA}$  показывают самообращение в центре эмиссии. У более слабых линий самообращение не наблюдается. Картина уточнена в [25], где на спектрограммах  $\alpha \text{ Ori}$  с дисперсией  $3.4$  и  $6.7 \text{ \AA}/\text{мм}$  в интервале длин волн  $3100\text{--}3300 \text{ \AA}$  было измерено 17 линий FeII мультиплетов № 1, 6 и 7. Относительно фотосферных линий эмиссионные линии оказались сдвинуты в длинноволновую сторону на  $5 \text{ км/с}$ . От слабых к сильным линиям ширины профилей изменяются от 20 до  $80 \text{ км/с}$ . Сильные эмиссии имеют самообращение. На рис. 2 представлен фрагмент спектра  $\alpha \text{ Ori}$ , полученного на НЭС БТА, содержащий хромосферные эмиссии FeII. Все эмиссионные линии асимметричны, коротковолновое крыло интенсивнее. В работе [25] была предложена феноменологическая модель: линии формируются в областях падающего материала, размер области составляет 2.5 радиуса звезды, доплеровское уширение  $14 \text{ км/с}$ . Кроме самопоглощения, линии искажены абсорбциями. Исследования эмиссий FeII приобрели массовый

характер в результате наблюдений 44 гигантов и сверхгигантов классов M и K в фокусах кудэ и Кассегрена 224-см рефлектора обсерватории Мауна Кеа [26]. Из 17 линий были выбраны три неискаженные: 3277.35 (1), 3227.73 (6), 3196.07 (7), по ним вычислялся индекс интенсивности FeII. Обнаружена корреляция между интенсивностью FeII и интенсивностью эмиссионных компонент CaII и  $\text{H}_{\alpha}$ , формирующихся в околосредней газовой оболочке. В интервале эффективных температур от  $4200 \text{ К}$  до  $2900 \text{ К}$  наблюдается рост эмиссий с понижением температуры.

### 4. ХРОМОСФЕРЫ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

Уже в [23] по наблюдениям эмиссий FeII у 19 Psc (C6) было высказано предположение, что структура внешних слоев атмосфер углеродных звезд не должна сильно отличаться от M-звезд. В конце 70-х по заявке F. Quegci один из авторов (В.Е.П.) предпринял попытки зарегистрировать хромосферные эмиссии углеродных звезд, наблюдая на ОЗСП БТА с  $D = 6.7 \text{ \AA}/\text{мм}$  в области  $3300\text{--}3600 \text{ \AA}$ . Обнаруженные слабые эмиссионные детали были интерпретированы как просветы в частоте абсорбционных линий спектра молекулярного углерода. Продвинуться в более коротковолновую область не удалось из-за специфической комбинации параметров решетки и порядкоразделительных фильтров (ОЗСП не был приспособлен для наблюдений при  $\lambda < 3300 \text{ \AA}$ ).

Эмиссионные линии FeII 3255.9, 3277.35, 3281.3, 3295.8, 3303.5  $\text{ \AA}$  в спектре углеродной звезды TW Ног были исследованы в течение 4 ночей [27]. Основной проблемой фотометрии хромосферных эмиссий является калибровка по потоку, поэтому время экспозиции в [27] определялось как равное число отсчетов экспонометра, работающего по голубой части спектра. От ночи к ночи были обнаружены изменения интенсивности линий FeII 3277.35 и 3281.3  $\text{ \AA}$ . Перечислены возможные причины явления: 1) неоднородности в облачной хромосфере и эволюция активных областей; 2) возбуждение FeII и MgII короткопериодическими акустическими волнами от конвективной зоны, причем отсутствие эмиссии в CaII объясняется тем, что в этой области ударные волны еще недостаточно развиты; 3) выход гигантских конвективных пузырей в хромосферу, что может обеспечить переменность на шкале от 10 дней до 6 лет; 4) хромосферные вспышки вследствие перезамыкания магнитных силовых линий (эта модель обсуждалась ранее в [28]). Далее наблюдения TW Ног были продолжены на IUE [29], и обнаружена переменность линии AlII 2670  $\text{ \AA}$ . Эмиссионные спектры хромосфер углеродных звезд



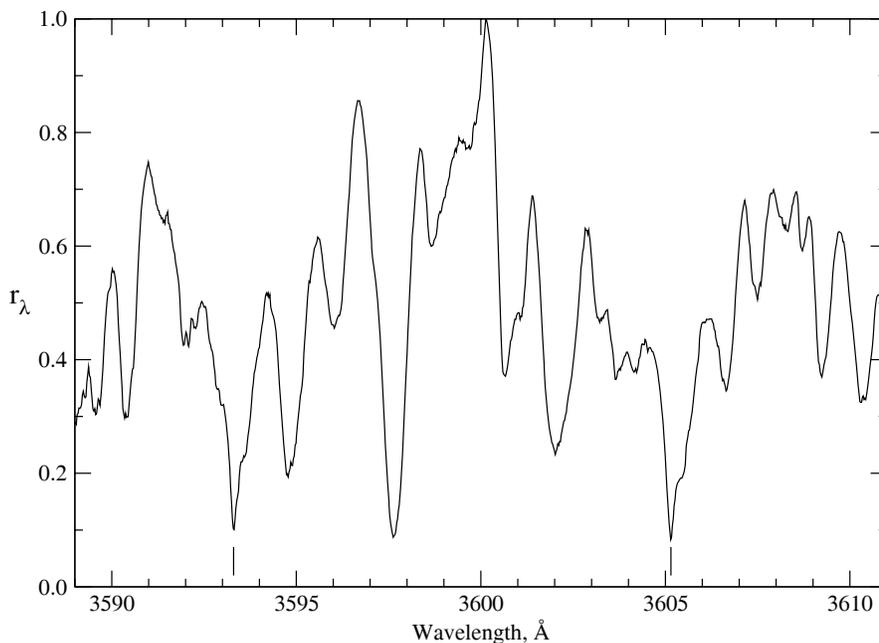
**Рис. 2.** Фрагмент спектра  $\alpha$  Ori, содержащий широкие хромосферные эмиссионные линии FeII 3277.3 Å и FeII 3281.1 Å. Спектр получен на НЭС БТА.

представляют загадку: эмиссии ионов металлов не сопровождаются эмиссией в  $H_{\alpha}$  и в H и K CaII. По этой причине исключается модель ударной волны, применяемая к миридам спектрального класса M. Предпочтительной оказалась модель возбуждения короткопериодическими акустическими волнами: в области плоского температурного минимума недостаточно энергии для возбуждения эмиссий H и K CaII, а резкий рост температуры в протяженной хромосфере достаточен для возбуждения FeII и MgII. В работе [30] по наблюдениям на длинноволновой камере IUE с низким разрешением, (1900–3400 Å), исследована хромосфера TX Psc. Обнаружены большие вариации эмиссий дублета MgII 2795.5 и 2802.7 Å, а также линий SiII 2330 Å, FeII 3300 Å, с характерными временами от часа до нескольких дней. Поток в континууме при этом оставался неизменным. Переменность в линиях MgII объяснялась как следствие пространственных и временных неоднородностей в хромосфере. Полуэмпирическая модель хромосферы TX Psc построена в [31], вычисления проведены в гидростатическом приближении. Сделан вывод, что нижняя хромосфера расширяется со скоростью 50 км/с, тогда как верхняя хромосфера покоится относительно фотосферы.

Возможность наблюдений хромосфер углеродных звезд в наземном ультрафиолете обеспечена сильным поглощением излучения фотосферы в полосах молекулы  $C_3$  и других углеродсодержащих молекул. Если у M-звезд в наземном ультрафиолете эмиссии FeII видны на фоне слабого абсорбционного спектра, то у C-звезд уровень фотосферного излучения достигается труднее, что приводит к проблеме определения уровня континуума. Несомненная польза спектрофотометрии хромосфер углеродных звезд состоит и в том, что гипотеза возникновения эмиссионного спектра в области высвечивания за фронтом ударной волны была поставлена под сомнение даже на феноменологическом уровне.

5. ЭМИССИОННЫЕ СПЕКТРЫ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

По сравнению с углеродными звездами, ультрафиолетовый диапазон M- и S-мирид меньше блендирован молекулярными полосами (полосы  $\alpha$ -системы окиси титана — TiO, ослабевают после 4300 Å). В [32] спектр мириды R Leo изучен вплоть до 3450 Å. Линии FeI мультиплетов 2 и 3 абсорбционные в максимуме блеска, при переходе к минимуму блеска становятся эмиссионными. Линии FeI мультиплетов 72–74, 78 с потенциалом возбуждения нижнего уровня около 2.2 эВ наблюдаются только в эмиссии. Эмиссионный спектр S-мириды R And оказался богаче [33], т.к. у S-звезд для формирования достаточного количества молекул TiO недостает свободного кислорода и молекулярный спектр, блендирующий эмиссию, выглядит слабее. Интенсивность эмиссионных линий FeII мультиплета 1, наблюдаемых в диапазоне



**Рис. 3.** Фрагмент спектра  $\alpha$  Ogi, содержащий линии холодной околозвездной оболочки. Отмечены линии CrI 3593.49 Å и CrI 3605.33 Å. Узкая, синесмещенная компонента формируется в оболочке, широкая — в атмосфере сверхгиганта. Спектр получен на НЭС БТА.

3200–3300 Å, возрастает к минимуму блеска звезды. В работах [32, 33] впервые был поднят вопрос об искажении эмиссий абсорбционными линиями, формирующимися выше. В [34] по спектрам MS-мириды  $\chi$  Cyg проверена гипотеза Боуэна о флуоресцентном возбуждении уровней излучением в линиях резонансного дублета MgII 2795 и 2802 Å. Оказалось, что возбуждаются те уровни, соответствующие переходы с которых дают линии чуть короче (на шкале длин волн) линий дублета MgII. Поэтому в [34] был сделан вывод, что эмиссия в дублете MgII смещена в коротковолновую сторону на 0.4 Å относительно эмиссии в линиях H и K CaII. И так, уже к середине века рассматривались механизмы возбуждения эмиссионного спектра, альтернативные гидродинамическим.

Изменения лучевых скоростей мирид с фазой кривой блеска, измеренных по абсорбционным и эмиссионным линиям металлов, не согласуются с классической картиной формирования ударной волны в голове волны сжатия, движущейся в атмосфере. Кроме того, для образования эмиссии в бальмеровских линиях водорода требуются скорости около 40 км/с, что в атмосферах мирид никогда не наблюдается. Форма профилей эмиссионных линий водорода изменяется от периода к периоду, известны случаи, когда водородная эмиссия очень слаба [35]. В [28] были перечислены наблюдаемые эффекты, несовместимые с моделью высвечивания

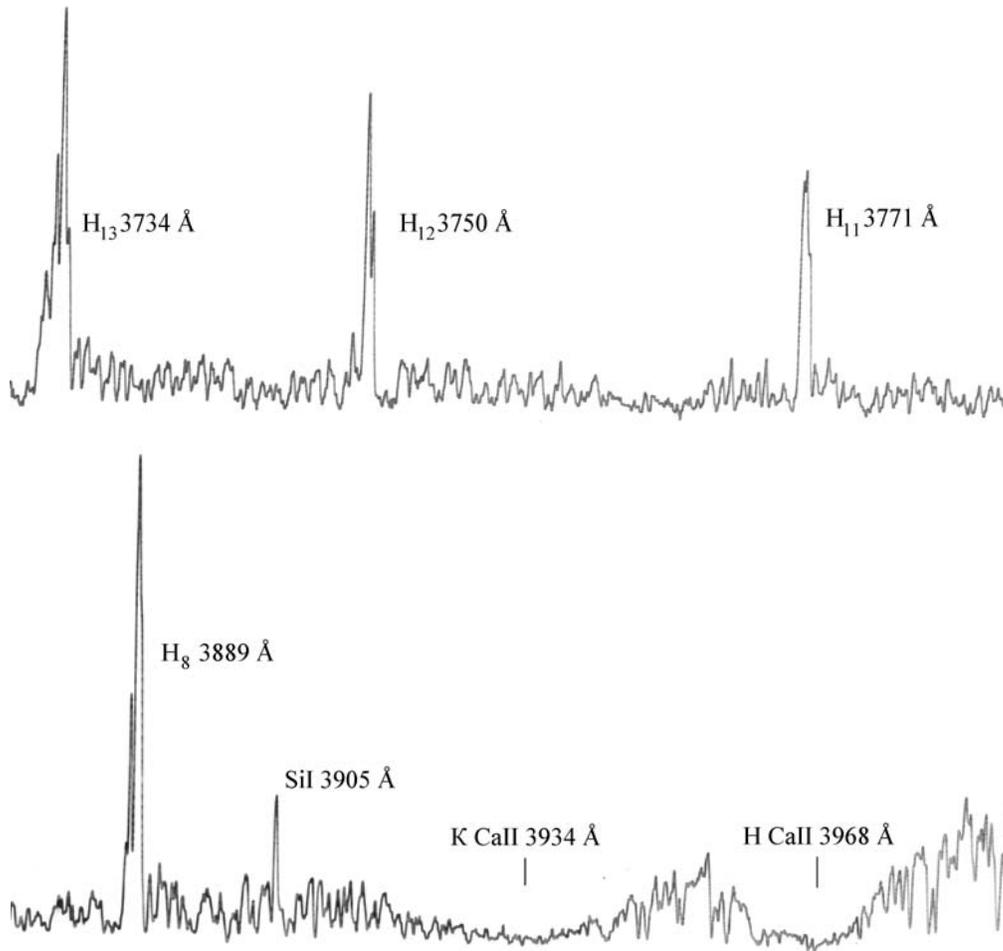
за фронтом ударной волны, и предположено формирование эмиссионного спектра в хромосфере.

## 6. ОКОЛОЗВЕЗДНЫЕ ОБОЛОЧКИ

Количество линий металлов на единицу длины волны возрастает при продвижении в ультрафиолет. Соответственно увеличивается доля линий, имеющих нулевой (или низкий) потенциал возбуждения нижнего уровня. Часть соответствующих переходов имеет вероятности, достаточные для формирования абсорбций в разреженных холодных околозвездных оболочках.

При наблюдениях на спектрографе фокуса кудэ 2.5-м телескопа обсерватории Маунт Вилсон в спектрах  $\alpha$  Ogi (полученных в диапазоне 3150–4900 Å, с дисперсией от 1.1 до 3.3 Å/мм) обнаружены и измерены десятки абсорбционных линий металлов в интервале потенциалов возбуждения, преимущественно 0.0–0.15 эВ [24]. Эти линии смещены относительно фотосферных на величину 10 км/с, неизменную уже более полувека. Величина смещения меньше скорости убегания, оцениваемой в 90 км/с.

На рис. 3 приведен фрагмент спектра  $\alpha$  Ogi, где отмечены две абсорбционные линии околозвездного происхождения CrI 3593.49 Å и 3605.33 Å. Положение этих абсорбций позволяет оценить скорость движения оболочки по лучу зрения (относительно фотосферных компонент), а также оценить



**Рис. 4.** Фрагменты ультрафиолетового спектра Миры Кита, полученного на ОЗСП БТА. Эмиссионные линии балъмеровой серии водорода изрезаны абсорбциями нейтральных металлов, формирующимися в околозвездной оболочке.

содержание атомов в оболочке. Плотность оболочки мала, так что столкновительными процессами можно пренебречь. Непрерывным поглощением в ультрафиолете также можно пренебречь. Основным процессом формирования абсорбционной линии является рассеяние. Применение кривой роста для чистого рассеяния должно приводить к недооценке числа атомов приблизительно на величину, равную квадрату отношения радиусов оболочки и звезды. Роль многократного рассеяния в стационарной или расширяющейся оболочке можно оценить, сравнивая степень линейной поляризации в профиле линии, сформированной в атмосфере, и в профиле, сформированном в оболочке.

На рис. 4 приведены участки ультрафиолетового спектра Миры Кита, полученного на Основном звездном спектрографе БТА [36]. Видно, что эмиссионные линии изрезаны абсорбциями. Это обстоятельство принципиально ограничивает точность измерения лучевых скоростей по эмиссиям. В [36] путем численного моделирования показано, что эти

абсорбции отождествляются с низковозбужденными переходами нейтральных металлов. Оценки, выполненные в ЛТР-приближении, показали, что вещества, находящегося над областью формирования эмиссии, достаточно как для формирования спектра TiO, так и наблюдаемых показателей цвета [37]. Этот вывод позволяет разобраться в картине лучевых скоростей, наблюдаемых в оптическом диапазоне. В синей области спектра наблюдаются смещения линий поглощения, принадлежащих нейтральным атомам. Соответствующие лучевые скорости возрастают в среднем на 1 км/с при изменении потенциала нижнего уровня на 1 эВ [38]. В ИК-области спектра (1.5–2 мкм) наблюдается раздвоение вращательных линий колебательных полос CO и OH [39]. В этом случае, при минимальном значении коэффициента непрерывного поглощения (см. [3, рис. 8]), наблюдается как спектр оболочки, так и спектр фотосферы. В синем диапазоне наблюдается преимущественно абсорбционный спектр оболочки, которая не повторяет

периодические смещения фотосферных слоев. Лучевые скорости центра звезды, определенные по наблюдениям околозвездных оболочек в линиях SiO, ближе к лучевым скоростям, определяемым в видимом диапазоне по эмиссионным линиям, чем к “абсорбционным” скоростям [40, 41]. Степень линейной поляризации в оптических спектрах мирид, полученных со средним разрешением, возрастает в кантах молекулярных полос [42]. Температуры, определенные по кантам колебательных полос  $\alpha$ -системы TiO, низкие [43] и характеризуют скорее оболочку, чем атмосферу. Спекл-интерферометрия мирид показала, что радиус звезды, измеренный в полосе шириной 50–100 Å, при переходе от участка, относительно свободного от молекулярного поглощения, к сильной полосе TiO, — увеличивается вдвое [44]. Все эти результаты свидетельствуют о том, что у M-мирида в наземном ультрафиолете мы будем регистрировать преимущественно спектр околозвездной оболочки, а также эмиссионные линии хромосферного происхождения.

## 7. ВЫВОДЫ

Наблюдения с высоким спектральным разрешением в наземном ультрафиолете представляются нам перспективными для изучения строения и динамики околозвездных оболочек M, S и C-звезд. Исследования эмиссионного спектра, особенно поиск его вариаций на временах, коротких по сравнению с характерным временем изменений абсорбционного спектра, позволят уточнить строение переходного слоя и хромосферы. В обоих случаях большая роль отводится спектрополяриметрическим наблюдениям. Мы не затрагивали проблему изучения хромосфер более горячих звезд, где оптимальным диапазоном является внеатмосферный ультрафиолет.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана РФФИ (проект 07–02–00247–а) и Программой Отделения физических наук РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук и М. В. Юшкин, в *Ультрафиолетовая Вселенная. II.*, ред. Б. М. Шустов, М. Е. Сачков, и Е. Ю. Кильпио (Янус-К, Москва, 2008), сс. 46–59.
2. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова и др., *Астрофизический бюллетень* **64**, 392 (2009).
3. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова и М. В. Юшкин, *Астрофизический бюллетень* **65**, 174 (2010).
4. W. S. Adams and A. H. Joy, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **43**, 407 (1931).
5. W. P. Bidelman, *Astrophys. J. Suppl.* **1**, 175 (1954).

6. O. C. Wilson and M. K. V. Bappu, *Astrophys. J.* **125**, 661 (1957).
7. O. C. Wilson, *Astrophys. J.* **130**, 499 (1959).
8. O. C. Wilson, *Astrophys. J.* **138**, 832 (1963).
9. O. C. Wilson, *Astrophys. J.* **153**, 221 (1968).
10. O. C. Wilson and R. Woolley, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **148**, 463 (1970).
11. O. C. Wilson, *Astrophys. J.* **160**, 225 (1970).
12. A. H. Vaughan, G. W. Preston, and O. C. Wilson, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **90**, 267 (1978).
13. O. C. Wilson, *Astrophys. J.* **226**, 379 (1978).
14. A. H. Vaughan and G. W. Preston, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **92**, 385 (1980).
15. D. R. Soderblom, D. K. Duncan, and D. R. H. Johnson, *Astrophys. J.* **375**, 722 (1991).
16. H. J. Rocha-Pinto and W. J. Maciel, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **298**, 332 (1998).
17. W. Livingston et al., *Astrophys. J.* **657**, 1137 (2007).
18. G. Pace, L. Pasquini, and S. Ortolani, *Astronom. and Astrophys.* **401**, 997 (2003).
19. W. Livingston, *Nature* **297**, 208 (1982).
20. C. A. Prieto et al., *Astrophys. J.* **526**, 991 (1999).
21. J. Tinbergen and C. Zwaan, *Astronom. and Astrophys.* **101**, 223 (1981).
22. G. Herzberg, *Astrophys. J.* **107**, 94 (1948).
23. W. P. Bidelman and D. Pyper, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **75**, 389 (1963).
24. R. Weymann, *Astrophys. J.* **136**, 844 (1962).
25. A. M. Boesgaard and C. Magnan, *Astrophys. J.* **198**, 369 (1975).
26. A. M. Boesgaard and H. Boesgaard, *Astrophys. J.* **205**, 448 (1976).
27. P. Bouchet, M. Querci and F. Querci, *Messenger* **31**, 7 (1983).
28. К. В. Бычков и В. Е. Панчук, *Астрон. Журн.* **54**, 340 (1977).
29. M. Querci and F. Querci, *Astronom. and Astrophys.* **147**, 121 (1985).
30. H. R. Johnson et al., *Astrophys. J.* **311**, 960 (1986).
31. D. G. Luttermoser et al., *Astrophys. J.* **345**, 543 (1989).
32. P. W. Merrill, *Astrophys. J.* **103**, 275 (1946).
33. P. W. Merrill, *Astrophys. J.* **105**, 360 (1947).
34. P. W. Merrill, *Astrophys. J.* **106**, 274 (1947).
35. D. Gillet, P. Bouchet, and E. Maurice, *Messenger* **34**, 38 (1983).
36. В. Е. Панчук, *Письма в Астрон. Журн.* **4**, 374 (1978).
37. В. Е. Панчук, *Письма в Астрон. Журн.* **4**, 314 (1978).
38. P. W. Merrill and J. L. Greenstein, *Astrophys. J. Suppl.* **2**, 225 (1956).
39. K. H. Hinkle, *Astrophys. J.* **220**, 210 (1978).
40. M. J. Reid, *Astrophys. J.* **207**, 784 (1976).
41. M. J. Reid and D. F. Dickinson, *Astrophys. J.* **209**, 505 (1976).
42. I. D. Landstreet and I. R. P. Angel, *Astrophys. J.* **211**, 825 (1977).
43. С. М. Морозова и В. Е. Панчук, *Сообщ. CAO* **22**, 27 (1978).
44. A. Labeyrie et al., *Astrophys. J.* **218**, L75 (1977).

**STELLAR SPECTROSCOPY IN GROUND-BASED ULTRAVIOLET. III: CHROMOSPHERES AND ENVELOPES OF COOL STARS****V.E. Panchuk, V.G. Klochkova, M.V. Yushkin**

In historical perspective we discuss selected tasks in the studies of stellar chromospheres and circumstellar envelopes using spectroscopic methods in the ground-based ultraviolet. We illustrate our discussion by fragments of spectra that we took with the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences.

Key words: *Stars: chromospheres*