

УДК 524.32

**Проект «HeII»: эмиссионные линии ионизованного гелия в спектрах вспыхивающих звезд и звездные аналоги солнечных корональных выбросов – программа наблюдений на ВКО/Спектр-УФ**

*Р.Е. Гершберг*

НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», Научный, АР Крым, Украина, 98409  
*gershber@crao.crimea.ua*

Поступила в редакцию 1 октября 2012 г.

**Аннотация.** Подробно рассмотрены эмиссионные линии ионизованного гелия в спектрах вспыхивающих звезд-карликов типа UV Cet. По-видимому, эта эмиссия на поздних стадиях развития вспышек обусловлена явлениями на звездах, аналогичными солнечным корональным выбросам (СМЕ). Предложена программа совместных космических и наземных спектральных наблюдений активных звезд для регистрации таких явлений.

THE HeII PROJECT: EMISSION LINES OF THE IONIZED HELIUM IN SPECTRA OF FLARE STARS AND STELLAR ANALOGUES OF THE SOLAR CORONAL EJECTIONS – PROGRAMME FOR OBSERVATIONS AT THE WSO/SPECTRUM-UV, *by R.E. Gershberg*. Emission lines of the ionized helium in spectra of the UV Cet-type flare dwarf stars are considered in detail. Probably, this emission at the late stages of stellar flares is due to stellar analogues of the coronal mass ejections from the Sun. The observational programme for simultaneous space and ground spectral monitoring is proposed to register such events.

**Ключевые слова:** УФ-наблюдения звезд

---

## 1 Введение

Самый распространенный тип звездной нестационарности – это активность солнечного типа, в той или иной степени она присуща большинству звезд малых и средних масс нижней части Главной последовательности. Наиболее четко эта нестационарность выражена у вспыхивающих красных карликовых звезд типа UV Кита. На таких звездах зарегистрированы практически все известные проявления активности Солнца: скоротечные вспышки в диапазоне от жесткого рентгена до радиоволн, холодные пятна, хромосферные эмиссионные линии и ультрафиолетовые эмиссии переходной зоны от хромосферы к короне, горячие короны с тепловым рентгеновским и неравновесным радиоизлучением, многолетние циклы активности. Число поздних звезд-карликов, обнаруженных Слоановским цифровым обзором неба, составляет миллионы (Бочански и др., 2009). Но если ограничиться традиционными методами исследования звездной

нестационарности, то число объектов с активностью солнечного типа составляет 5535 (Гершберг и др., 2011).

Перечисленные явления активности солнечного типа регистрируются весьма различными методами и приборами с разной проникающей силой. Поэтому естественно, что числа объектов, на которых обнаружены те или иные проявления рассматриваемой звездной активности, весьма различны. Так, радиовсплески обнаружены на звездах числом около сотни, рентгеновское излучение – около полутора тысяч звездных корон, холодные пятна – на нескольких сотнях звезд-карликов, скоротечные вспышки – на 1700 звездах. Но мощный выброс вещества во время звездной вспышки, напоминающий солнечные корональные выбросы, был четко зарегистрирован лишь однажды. Этот уникальный экспериментальный результат был получен в Крыму в ходе патрульных спектральных наблюдений активного красного карлика EV Lac.

## 2 Активность EV LAC в ночь с 31 августа на 1 сентября 1994 г.

EV Lac – одна из самых ярких и наиболее активных вспыхивающих красных карликовых звезд на северном небе. Имея склонение около  $+44^\circ$ , эта звезда проходит в Крыму около зенита и может непрерывно наблюдаться до 8–9 часов в августовские и сентябрьские ночи. Эти обстоятельства делают ее очень удобной для длительного мониторинга. В 1986–1998 годы КрАО были организованы 10 международных кампаний по наблюдениям этого объекта. Идея кампаний состояла в том, чтобы в выбранные ночи проводить одновременные наблюдения звезды разными максимально возможными методами: спектральным, фотометрическим, поляриметрическим, радиоастрономическим. Результаты, собранные в каждой кампании, были опубликованы в отдельных статьях, а в статьях Алексева и Гершберга (1997) и Гершберга (2007) подведены некоторые общие результаты всех этих кампаний.

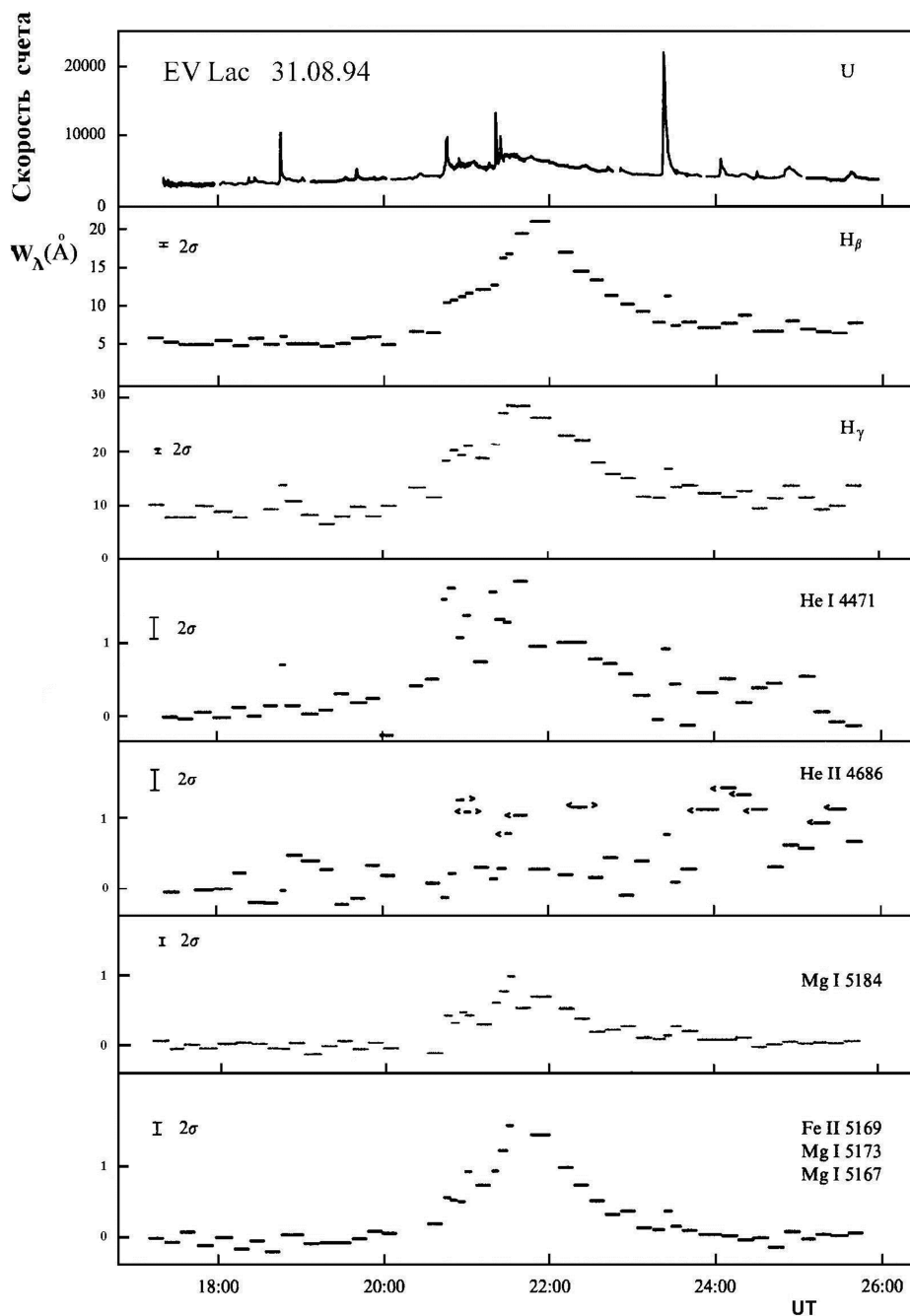
В рамках подготовки программы наблюдений на ВКО/Спектр-УФ особый интерес представляют результаты патрулирования EV Lac в ночь 31.8/1.9 1994 года, детально описанные в работе Абрамина и др. (1998). В эту ночь звезда наблюдалась фотометрически на двух телескопах в КрАО, на греческой обсерватории Стефанион и на двух телескопах на Горной станции обсерватории Катании на Этне в Италии; спектральные наблюдения проводились на 2.6-м Шайновском телескопе (ЗТШ) в КрАО. Результаты крымских наблюдений приведены на рис. 1 и 2.

На верхней панели рис. 1 представлена кривая блеска EV Lac по наблюдениям в эту ночь в КрАО в полосе U. Когда звезда находится в спокойном состоянии, то при прохождении ею области вблизи меридиана наблюдаемый блеск плавно повышается за счет уменьшения атмосферного поглощения. На указанной панели вблизи меридиана – UT  $\sim 22^h$  – действительно, имеет место повышение блеска звезды, но оно несимметрично относительно меридиана и больше, чем регулярно наблюдаемый эффект минимума атмосферного поглощения. Причину такого поведения блеска звезды обнаруживают следующие панели рис. 1, где представлены эквивалентные ширины эмиссионных линий в спектрах звезды, полученных в эту ночь на ЗТШ. Согласно этим данным, во время повышенного блеска звезды, которое началось незадолго до вспышки в UT =  $20^h46^m$  и продолжалось практически до вспышки в UT =  $23^h24^m$ , существенно и синхронно возросли эквивалентные ширины эмиссионных водородных и металлических линий: коэффициент корреляции между величинами W на второй и последней панелях составляет 0.94.

Это обстоятельство позволяет предполагать, что повышенный блеск звезды около меридиана в эту ночь был обусловлен не только минимумом атмосферного поглощения, но и появлением на диске активной области хромосферы с заметно повышенной яркостью континуума и указанных линий. Согласно кривой блеска, повышенное свечение звезды продолжалось около 2.6 часов. (При периоде осевого вращения  $4.^d4$  звезда за это время

Проект «HeII»...

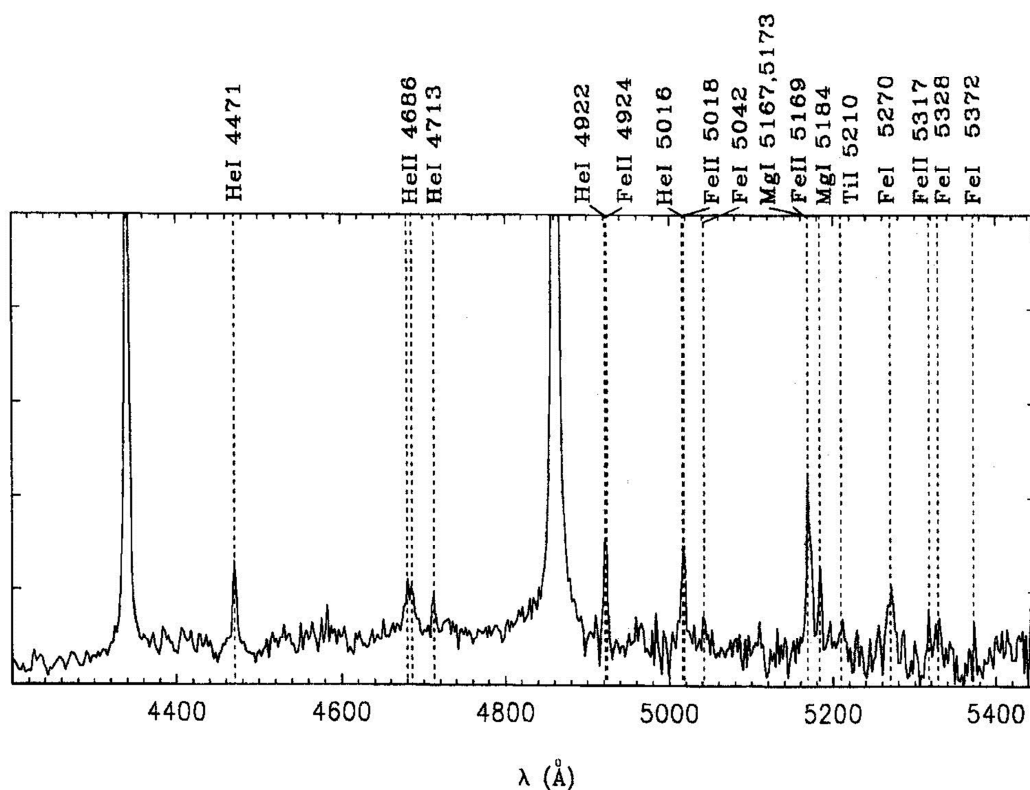
повернулась примерно на  $8.^\circ 8$ .) За время повышенного блеска звезды на ней были зарегистрированы вспышки с амплитудами  $0.^\text{m}94$  ( $20^{\text{h}}46^{\text{m}}$ ) и  $1.^\text{m}29$  ( $21^{\text{h}}22^{\text{m}}$ ) и несколько более слабых всплесков, а по окончании повышенного блеска звезды произошла самая сильная в эту ночь вспышка с амплитудой  $1.^\text{m}83$  ( $23^{\text{h}}24^{\text{m}}$ ).



**Рис. 1.** Результаты фотометрического и спектрального патрулирования EV Lac в ночь 31.8/1.9 1994 в Крымской астрофизической обсерватории (Абранин и др., 1998)

Эквивалентная ширина линии нейтрального гелия  $\lambda$  4471 Å описывает подъем во время поярчания звезды, как водородные и металлические линии, но эта линия более четко, чем  $H_{\beta}$ , реагирует на перечисленные выше отдельные быстрые вспышки, хотя в целом эти две линии неплохо коррелируют между собой:  $r(W_{H_{\beta}}, W_{\lambda 4471}) = 0.76$ .

Наиболее интересные и неожиданные результаты дало патрулирование эмиссионной линии ионизованного гелия  $\lambda$  4686 Å (см. пятую панель рис. 1). Эта линия реагирует на быстрые вспышки в начале поярчания звезды так же, как и линия нейтрального гелия, но обнаруживает длительное послесвечение после самой сильной вспышки, что довольно слабо выражено в линии нейтрального гелия. С формальной точки зрения линия HeII не коррелирует с перечисленными выше эмиссиями водорода и металлов: соответствующие коэффициенты корреляции заключены в диапазоне от 0.2 до 0.3. Но при внимательном сопоставлении  $W_{\lambda 4686}$  с кривой блеска звезды обнаруживается, что почти все спектры с повышенным свечением ионизованного гелия были получены через 15–30 минут после быстрых вспышек. Другая особенность эмиссии линии He II  $\lambda$  4686 Å представлена на рис. 2, где, согласно Абранину и др. (1998), дан суммарный спектр всех активных состояний эмиссии HeII: измерения показали, что длинноволновый компонент имеет нормальную длину волны, тогда как коротковолновый смещен на  $-400$  км/с. Среди спектров возбужденного состояния звезды, полученных ночью 31.8/1.9, восемь обнаруживают только коротковолновый компонент, два спектра – оба компонента и один спектр – только длинноволновый компонент; эти особенности отмечены на графике значками < и > соответственно.



**Рис. 2.** Суммарный спектр активных состояний EV Лас по крымским наблюдениям в 1994 году (Абранин и др., 1998)

По-видимому, обнаруженный коротковолновый компонент линии HeII может возникать в переходной зоне от хромосферы к короне звезды или в нижней короне при формировании движущихся структур, аналоги которых на Солнце дают транзиенты в межпланетном пространстве. Очевидно, что для изучения звездных СМЕ желательно увеличить число таких зарегистрированных явлений.

### 3 Другие регистрации эмиссионных линий HeII на вспыхивающих звездах

Эмиссионная линия HeII  $\lambda$  4686 Å возникает при переходе с четвертого энергетического уровня иона на третий. Регистрируемая в ультрафиолете линия HeII  $\lambda$  1640 Å возникает при следующем каскадном переходе с третьего уровня на второй. Рентгеновская линия HeII  $\lambda$  303 Å соответствует переходу со второго уровня на первый. Таким образом, эти три гелиевые линии аналогичны первым членам Пашеновской, Бальмеровской и Лаймановской серий водорода. Но число имеющихся спектров рассматриваемого типа звезд с эмиссией HeII сравнительно невелико.

Эмиссия HeII  $\lambda$  4686 Å была зарегистрирована Джоном и Хьюмасоном (1949) на одной из первых щелевых спектрограмм UV Cet, полученной 25.9.48 с экспозицией 144 минуты. На первых спектрах этой звезды с высоким временным разрешением эта линия была зарегистрирована Гершбергом и Чугайновым (1967) в максимуме блеска и в течение фазы быстрого угасания вспышки 24.9.65. Но с конца 60-х годов, когда скоростная спектроскопия звездных вспышек стала широко применяться, было зарегистрировано много вспышек ряда красных карликов с линиями HeI, но при отсутствии эмиссии HeII  $\lambda$  4686 Å.

Систематическое изучение ультрафиолетовой линии HeII  $\lambda$  1640 Å было начато после запуска в конце 70-х годов космического аппарата IUE.

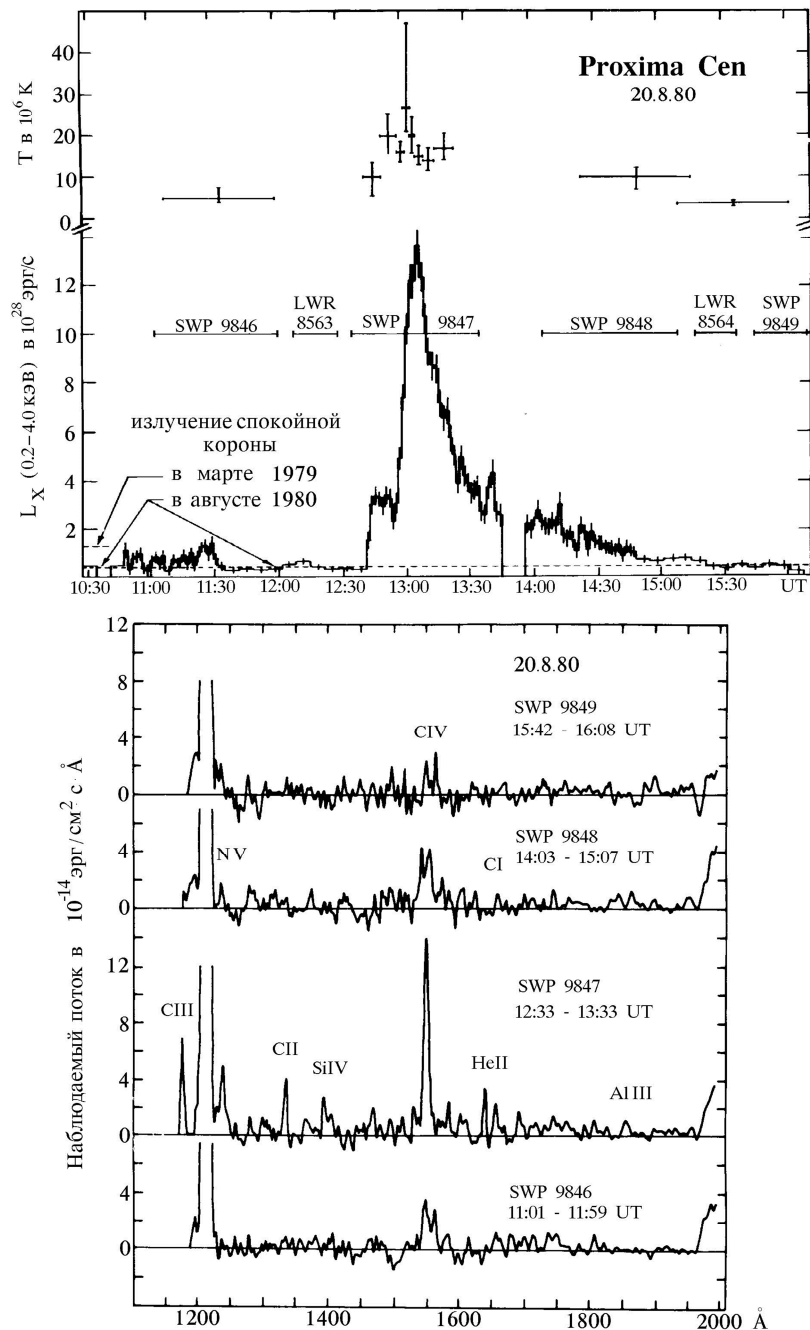
Гартманн и др. (1979) получили спектры в диапазоне от 1215 Å до 1820 Å системы EQ Peg, состоящей из dM3.5e и dM4.5e звезд, и G8V звезды  $\xi$  Boo A, и на зарегистрированных ими спектрограммах видна линия HeII  $\lambda$  1640 Å. Эта линия может возбуждаться либо при рекомбинациях после второй ионизации гелия мягким рентгеном и, следовательно, отражать условия в звездной короне, либо как другие линии в высокотемпературной переходной зоне.

В 1979 году Батлер и др. (1981) получили в коротковолновом диапазоне IUE спектры трех M-карликов разного уровня вспышечной активности: одной из самых активных UV Cet звезд AU Mic, активной звезды Gl 867 A и мало активной Gl 825. Во время одной из экспозиций Gl 867 A произошла вспышка. На спектрах AU Mic и Gl 867 A среди других была отождествлена бленда HeII+FeII, но в спектре Gl 825 ни одной эмиссионной линии обнаружено не было, хотя ранее на этом карлике была зарегистрирована вспышечная активность.

4–6.8.80 Батлер и др. (1983) провели наземные и с IUE спектральные наблюдения AU Mic и во время мощной вспышки 4.8. обнаружили сильное свечение линии HeII. Эта вспышка была зарегистрирована без фотометрической поддержки, но с протяжкой звезды вдоль щели в течение всего сеанса; рассмотрение изменений спектра показало, что линии HeII и SiII оставались достаточно яркими после заметного угасания CIV, а максимальные интенсивности этих линий имели место примерно через 20 минут после максимума CIV.

При детальном анализе наблюдений AU Mic 4–6 августа 1980 года, во время которых в области 1150–1950 Å была зарегистрирована дюжина вспышек с  $\Delta U < 1^m$ , Батлер и др. (1987) нашли, что при вариациях энергии вспышек  $E_U$  в диапазоне двух порядков величины потоки самых сильных ультрафиолетовых эмиссий CIV, SiII и HeII изменяются не более, чем вдвое, и в разных вспышках эти эмиссии ведут себя по-разному: в одних несинхронно изменялись эмиссии CIV и HeII, некоторые вспышки с заметной амплитудой  $\Delta U$  вообще не сопровождались значимыми изменениями ультрафиолетовых эмиссий и наоборот.

При патрулировании Proxima Cen 20.8.80 с IUE и обсерватории Эйнштейна была зарегистрирована сильная рентгеновская вспышка длительностью около часа, и до вспышки, во время ее максимального свечения, в фазе затухания и после окончания вспышки Хайш и др. (1983) получили спектрограммы в коротковолновом диапазоне IUE (см. рис. 3). На спектре во время вспышки хорошо видна линия HeII  $\lambda$  1640 Å, которой нет на других спектрах.



**Рис. 3.** Вспышка Proxima Cen 20.8.80. Вверху – кривая блеска в области мягкого рентгена, полученная на обсерватории Эйнштейна, и временные интервалы спектрографирования звезды в ультрафиолетовой области на спутнике IUE. Внизу – регистрограммы ультрафиолетовых спектров (Хайш и др., 1983)

Проект «HeII»...

Бромэйдж и др. (1986) сопоставили ультрафиолетовые спектры спокойного Солнца и вспыхающей звезды AT Mic и нашли, что в спектре звезды усредненные по поверхности потоки в линиях переходной зоны и линия HeII  $\lambda$  1640 Å усилены в 10–40 раз, тогда как в линиях хромосферы – лишь в несколько раз.

Бальюнас и Раймонд (1984) зарегистрировали вспышку EQ Peg B 2.9.81 длительностью около часа одновременно на IUE в ультрафиолете и в диапазоне 4700–7000 Å. Интенсивность эмиссии H $\beta$  возросла во вспышке вдвое, H $\alpha$  – на 30%, линии CIV – почти в 4 раза, линии HeII  $\lambda$  1640 Å – примерно в 3 раза, причем усиление ультрафиолетовых эмиссий было измерено в суммарном спектре системы EQ Peg AB. Существенно, что максимум интенсивности гелиевой линии имел место примерно за 15 минут до максимума H $\alpha$  и H $\beta$ .

Полагая, что в излучении линии HeII  $\lambda$  1640 Å доминируют рекомбинации в корональной плазме, Бальюнас и Раймонд интерпретировали вспышку как аналог плавной фазы двухленточной солнечной вспышки либо как быстро остывающую плазму корональной температуры.

На IUE Босгаард и Саймон (1984) провели три четырехдневных патрульных сеанса молодой G0 звезды  $\chi^1$  Ori и нашли четкую модуляцию интенсивности линий CIV и HeII  $\lambda$  1640 Å, сохраняющую фазу около года с периодом осевого вращения 5.1 суток, который был найден по вариациям кальциевой эмиссии.

Усиление линий HeII было обнаружено во вспышке AD Leo 2.2.83 на спектре, полученном Гэри и др. (1987) на IUE с 20-минутной экспозицией, начатой через 8 минут после максимума быстрой вспышки. Была зарегистрирована вдвое возросшая интенсивность линии HeII  $\lambda$  1640 Å, но без следов усиления других линий переходной зоны; усиленная линия гелия наблюдалась еще через 20 минут. В целом в кооперативных наблюдениях AD Leo в начале февраля 1983 года, когда звезда патрулировалась с помощью IUE, VLA и в оптическом диапазоне, были зарегистрированы 9 вспышек. По этой довольно скромной выборке были сделаны следующие выводы: вспышки в полосе U гораздо более скоротечны, чем продолжительность усиления HeII и радиоэмиссии; радиоэмиссия коррелирует с HeII, но не коррелирует с CIV; HeII во вспышках возбуждается корональным излучением.

На спектрограмме YZ CMi, полученной с 40-минутной экспозицией на IUE и перекрывшей практически всю сильную вспышку 3.2.83 с амплитудой  $\Delta U = 3.^m8$ , были хорошо видны усиленные примерно в 5 раз линии CIV и HeII (Ван ден Оорд и др., 1996).

На полученных спектрах в области 1150–1950 Å до и после сильной рентгеновской вспышки 14.11.84 в системе YY Gem, длившейся более 3 часов, видны усиленные линии CIV, HeII, CII и CI, но затмения в системе затруднили однозначную интерпретацию этих данных (Хайш и др., 1990).

По 13 M карликам Бёрн и Дойл (1989) нашли практически линейную корреляцию коронального излучения и эмиссии верхней хромосферы в линиях HeII  $\lambda$  1640 Å и CIV  $\lambda$  1550 Å

$$\begin{aligned} \lg F_X &= 0.87 + 1.04 \lg F_{\text{HeII}} \quad (r = 0.96) \\ \lg F_X &= -1.97 + 1.13 \lg F_{\text{CIV}} \quad (r = 0.97), \end{aligned}$$

справедливую в диапазоне около 3 порядков величины.

На космическом телескопе Хаббла были получены сравнительно немногочисленные, но весьма информативные данные о свечении ионизованного гелия в спектрах вспыхающих звезд.

На этом телескопе наблюдения AD Leo проводились 9.5.91 со спектральным разрешением 2000 и временным разрешением 1 с попеременно в диапазонах 1170–1450 Å и 1390–1670 Å с экспозициями в 5 минут; на каждом витке проводилось по 4 такие экспозиции и весь эксперимент проходил на 4 витках аппарата. В максимуме сильной вспышки эмиссия CIV в

течение 25 с была усилена в 90 раз, а эмиссия SiIV в течение 15 с в 60 раз; усиление линии HeII было вдвое меньшим, а в линиях C I  $\lambda$  1561 Å и  $\lambda$  1656 Å вообще не заметно. На этом спектре было обнаружено много ранее неизвестных во вспышках эмиссий, линии CIV, SiIV и HeII показали смещенные на +1800 км/с компоненты, но через 25 с это смещение уменьшилось до 600 км/с (Букбиндер и др., 1992).

Линский и др. (1995) выполнили на телескопе Хаббла наблюдения спектров компонентов системы Gl 752 AB с разрешением 0.17 Å. Наблюдения Gl 752 A проводились в диапазоне длин волн 1160–1718 Å, и в спектре хорошо видна линия HeII  $\lambda$  1640 Å.

По эшелльным спектрограммам AU Mic, полученным на Хаббловском телескопе, Пагано и др. (2000) провели анализ эмиссионной линии HeII  $\lambda$  1640 Å и пришли к выводу, что возбуждение этой линии примерно на 40% обусловлено ударами и на 60% – каскадными переходами после рекомбинации.

Во время спектральных наблюдений вспыхивающих звезд на 2.6-м Шайновском телескопе, Петров и др. (1984) предприняли поиск эмиссии He II  $\lambda$  4686 Å по спектрам с разрешением 0.7–1.0 Å, но ни в одной из 6 вспышек AD Leo и YZ CMi, зарегистрированных в этой кампании, гелиевую эмиссию не обнаружили. Однако на спектрах активного состояния EV Lac, полученных на ЗТШ в кампании кооперативных наблюдений 1992 года (Абдул-Азиз и др., 1995), хорошо видны линии нейтрального и ионизованного гелия  $\lambda$  4471 Å и  $\lambda$  4686 Å соответственно, причем во вспышке 3.9.92 UT 17<sup>h</sup>48<sup>m</sup> с  $\Delta U = 1^m32$  линия ионизованного гелия была гораздо сильнее, чем во вспышке 1.9.92 UT 23<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с  $\Delta U = 1^m56$ . Эмиссия ионизованного гелия в спектре вспышки этой звезды в ночь с 31.8 на 1.9.94 описана выше.

В июле 1992 года в ходе пробных наблюдений на аппарате EUVE на средневолновом спектрографе была зарегистрирована мощная эмиссия в корональной линии HeII  $\lambda$  303 Å в спектрах активных красных карликов AT Mic и AU Mic; позднее аналогичные результаты были получены по двойной системе EQ Peg (Браун, 1994). По этим наблюдениям были построены дифференциальные меры эмиссии звездных корон в рентгеновской области, оценены их температуры и плотности (Монсиньори Фосси и Ландини, 1994; Монсиньори Фосси и др., 1996, 1995а, б). Монсиньори Фосси и др. (1996) отметили, что во вспышках AU Mic линия HeII  $\lambda$  303 Å усилена в гораздо меньшей степени, чем высокотемпературные линии многократно ионизованного железа, что, видимо, обусловлено значительной оптической толщиной короны в гелиевой линии.

Дрейк и др. (1994) построили кривые блеска AU Mic в линиях Fe XXIV, XXIII, XVIII и HeII  $\lambda$  304 Å и нашли, что две первые высокотемпературные линии железа и линия гелия резко возросли в фазе максимума вспышки 15.7.92, тогда как усиление линии Fe XVIII было заметно меньшим. Кацова и др. (1999) предположили, что многочасовое свечение высокотемпературных линий могло быть обусловлено дополнительным нагревом вспышечной плазмы в протяженном вертикальном токовом слое.

Позднее Калли и др. (1997) провели детальный анализ спектров AD Leo, полученных на трех спектрометрах EUVE и усредненных по 4 временным интервалам: во время первой и второй вспышек, во время затухания первой вспышки и в спокойном состоянии звезды до первой и после второй вспышки. Во всех усредненных спектрах обнаружилось доминирование эмиссионных линий многократно ионизованного железа и линии HeII  $\lambda$  304 Å, но малое отношение S/N, достигнутое в этих наблюдениях, не позволило рассматривать «чистые спектры вспышек».

10.9.93 в UT 6:10 с EUVE была зарегистрирована довольно сильная вспышка EV Lac. На спектрах в диапазонах SW и MW во время вспышки обнаружились примерно десятикратно усиленные линии Fe XVI–XXIV и HeII (Амбрустер, 1995).

Редфилд и др. (2002) зарегистрировали на аппарате FUSE в спектрах пяти поздних карликов четыре эмиссионные линии HeII в диапазоне длин волн 900–1200 Å; эти эмиссии являются аналогами Бальмеровских линий водорода.



Таблица 1.

Номера п/п	Имя звезды	Координаты (2000.0)	$m_V$	Спектры	$\lg F_{1640}$ эрг/с	Источники сведений о HeII
1	2	3	4	5	6	7
1	UV Cet	01 39 01.5 -17 57 02	11.99	M5.5	25.50	Джой и Хьюматон, 1949; Гершберг и Чугайнов, 1967; Бёрн и Дойл, 1989
2	eps Eri	03 32 55.8 -09 27 30	3.73	K2		Редфилд и др., 2002
3	V1005 Ori	04 59 34.8 +01 47 01	10.10	dM0.5e	27.18	Бёрн и Дойл, 1989
4	AB Dor	05 28 44.8 -65 26 55	6.94	K1		Редфилд и др., 2002
5	$\chi^1$ Ori	05 54 23.0 +20 16 34	4.41	G0		Босгаард и Саймон, 1984
6	YY Gem	07 34 37.4 +31 52 10	9.83	M1e+M1e		Батлер и др., 1981; Хайш и др., 1990
7	YZ CMi	07 44 40.2 +03 33 09	11.19	M4.5e	26.38	Ван ден Оорд и др., 1996; Бёрн и Дойл, 1989
8	AD Leo	10 19 36.3 +19 52 12	9.47	M4.5e	26.76	Гэри и др., 1987; Бёрн и Дойл, 1989; Букбиндер и др., 1992; Калли и др., 1997
9	CN Leo	10 56 28.9 +07 00 53	13.45	M6.5e		Фурмайстер и др., 2007
10	EQ Vir	13 34 43.2 -08 20 31	9.35	dK5e	27.40	Бёрн и Дойл, 1989
11	Prox Cen = V645 Cen	14 29 43.0 -62 40 46	11.05	M5e	25.01	Хайш и др., 1983; Бёрн и Дойл, 1989
12	$\alpha$ Cen B	14 39 35.1 -60 50 15	1.33	K1		Редфилд и др., 2002
13	$\alpha$ Cen A	14 39 36.5 -60 50 02	-0.01	G2		Редфилд и др., 2002
14	$\xi$ Boo A = GJ 566 A	14 51 23.3 +19 06 02	4.68	G8		Гартманн и др., 1979
15	V1054 Oph	16 55 28.8 -08 20 11	9.02	dM3.5e	27.06	Бёрн и Дойл, 1989
16	BY Dra	18 33 55.8 +51 43 09	8.07	dM0e/K6e	27.71	Бёрн и Дойл, 1989
17	V1285 Aql	18 55 27.4 +08 24 09	10.19	dM3e	27.00	Бёрн и Дойл, 1989
18	Gl 752 A	19 16 55.3 +05 10 08	9.11	M3.5Ve		Линский и др., 1995
19	AT Mic	20 41 51.2 -32 26 07	10.34	dM4.5e	27.25	Бромэйдж и др., 1986; Бёрн и Дойл, 1989; Браун, 1994
20	AU Mic	20 45 09.5 -31 20 27	8.61	M1e	27.38	Батлер и др., 1981, 1983, 1987; Бёрн и Дойл, 1989; Пагано и др., 2000; Браун, 1994; Дрейк и др., 1994; Кацова и др., 1999; Редфилд и др., 2002
21	Gl 825 = AX Mic	21 17 15.3 -38 52 03	6.68	dM1/M0V	25.76	Бёрн и Дойл, 1989
22	Gl 867 A	22 38 45.6 -20 37 16	9.08	M2e	27.42	Батлер и др., 1981; Бёрн и Дойл, 1989
23	EV Lac	22 46 49.7 +44 20 02	10.33	M3.5		Абрагин и др., 1998; Абдул-Азиз и др., 1995; Амбрустер, 1995
24	EQ Peg	23 31 52.2 +19 56 14	10.16	M3.5e + M4.5e		Гартманн и др., 1979; Бальюнас и Раймонд, 1984; Браун, 1994; Монсиньори Фосси и Ландини, 1994; Монсиньори Фосси и др., 1996, 1995a, b

Фурмайстер и др. (2007) провели одновременные наблюдения в оптике на телескопе VLT/UVES и в рентгене на аппарате XMM-Newton вспыхивающей звезды CN Leo и во время вспышки 13 декабря 2005 года зарегистрировали с разрешением около 40000 две эмиссии HeII:  $\lambda$  4686 Å и  $\lambda$  3203 Å; вторая является аналогом линии  $\beta$  пашеновской серии водорода. Профиль линии  $\lambda$  4686 Å оказался двугорбым, но между его пиками расстояние было около 26 км/с, то есть в 15 раз меньше, чем в описанной выше вспышке EV Lac 31.8/1.9.95. Фурмайстер и др. отнесли это расщепление профиля за счет тонкой структуры многокомпонентной линии гелия, не привлекая соображений о движении вспыхивающего вещества. (Для анализа солнечных вспышек, зарегистрированных в КРАО на спектрографе с эшелле, Н.В. Стешенко и В.Л. Хохлова (1960) рассчитали эмиссионный профиль линии  $\lambda$  4686 Å с учетом тонкой структуры и нашли расстояние между пиками, соответствующее 20 км/с.) Спектр CN Leo был получен в момент максимума вспышки, после чего, к сожалению, наблюдения были сразу прекращены.

Общие сведения об упомянутых вспыхивающих звездах, в спектрах которых были зарегистрированы эмиссионные линии HeII, приведены в табл. 1.

Подведем итоги. Перечисленные выше две дюжины публикаций охватывают практически все успешные регистрации эмиссии HeII во вспыхивающих звездах. Эти данные обнаружили весьма различное поведение ионизованного гелия в разных вспышках: свечение в начале вспышек и после затухания их основной фазы, корреляцию линии  $\lambda$  1640 Å с самой сильной линией переходной зоны CIV в одних вспышках и независимое свечение этих линий в других. Это разнообразие, которое иногда можно принять за противоречие, находит естественное объяснение, если привлечь соображения, выдвинутые при обсуждении вспышки EV Lac 31.8/1.9.94: эмиссия HeII возникает в двух физически независимых ситуациях – в начале сильных вспышек наряду с другими линиями переходной зоны и при формировании аналогов солнечных выбросов вспыхивающего вещества на фазе заметного затухания вспышек. Напомним, что в сильных солнечных вспышках возбуждаются линии нейтральных и ионизованных металлов, что свидетельствует о прогреве все более глубоких слоев атмосферы, существенно выше в сильных вспышках появляются абсорбционные линии нейтрального гелия, которые в еще более сильных вспышках сменяются эмиссией; в самых сильных событиях появляется линия He II  $\lambda$  4686 Å.

#### 4 Скорости движения вещества во вспышках: типичные и экстремальные значения

Скорости движения вещества во вспышках наиболее эффективно определяются по вариациям профилей эмиссионных линий водорода, линии более тяжелых элементов редко обнаруживают во вспышках значимые вариации. Изменения профилей линий могут быть обусловлены повышением плотности излучаемого вещества и соответствующим уширением штарковского профиля (существенно зависящего от номера члена бальмеровской серии), повышением температуры и оптической толщины и эффектом Доплера. Редко удается уверенно разделить эти независимые факторы, и отнесение всех изменений профиля за счет эффекта Доплера приводит к завышенной оценке скорости. С учетом этих замечаний обратимся к наблюдениям.

В спектрах вспышек с небольшой амплитудой, скажем 0.<sup>m</sup>3–0.<sup>m</sup>6, изменения профилей эмиссионных линий невелики или вообще не заметны. Во вспышках с амплитудами более 1.<sup>m</sup>0–1.<sup>m</sup>5 обычно обнаруживаются изменения профилей линий, хотя совместное рассмотрение наблюдений более двух десятков вспышек, выполненных в Крыму и на обсерватории МакДональд в конце 60-х – начале 70-х годов, показало, что нет корреляции между фотометрическими и спектральными характеристиками вспышек: между амплитудами вспышек и ширинами эмиссионной линии H $\alpha$ , между интенсивностями и ширинами этой линии, между видом кривой блеска вспышки и появлением тех или иных линий гелия.

На первых спектрограммах вспышек заметной амплитуды, полученных с невысоким спектральным разрешением, FWHM первых членов Бальмеровской серии примерно удваивались: от 4–5–7 Å в спокойном состоянии звезды до 8–10–15 Å во время вспышек (Джой, 1958; Гершберг и Чугайнов, 1966; Гринстейн и Арп, 1969; Гершберг и Шаховская, 1971; Бопп и Моффетт, 1973). Такие уширения при гауссовых представлениях профилей соответствуют скоростям вещества во вспышках от 160 до 410 км/с.

Исон и др. (1992) не смогли представить профиль эмиссии  $H_\alpha$  в спектре вспышки UV Cet 8.9.79 штарковской кривой и представили его суперпозицией двух гауссиан, причем широкая гауссиана имела «синее» смещение на 70 км/с при доплеровой полуширине 150 км/с. Исон и др. рассматривали этот результат как прямое свидетельство испарения плазмы хромосферной плотности.

К упомянутым выше недоплеровым механизмам расширения профилей линий следует добавить существенную асимметрию разного знака профилей на разных фазах развития вспышек.

Во вспышке YZ CMi 4.3.85 с  $\Delta U = 1.^m2$  Дойл (1989) нашел у всех зарегистрированных Бальмеровских линий широкие крылья в максимуме и особенно во время быстрого угасания вспышки. Линии  $H_\gamma$  и  $H_\delta$   $\Delta$  были симметричны, тогда как  $H_\beta$  и  $H_\gamma$  обнаружили красную асимметрию. До вспышки  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  были представлены гауссианой с FWHM = 1.5 Å, но вспышечные профили не удалось представить ни одной гауссианой, ни одним или двумя Штарковскими профилями; эти профили были представлены суммами двух гауссиан, и такое представление соответствовало направленным движениям со скоростями  $\pm 250$ –300 км/с или турбулентности со скоростью 500–600 км/с в широком компоненте и турбулентности в 55 км/с в узком компоненте. При таких скоростях движения за время одной экспозиции должна была быть выброшена в корону заметная масса и дать рентгеновскую вспышку; поскольку такого события в этой вспышке не наблюдалось, то Дойл предложил заменить один продолжительный выброс цепочкой последовательных выбросов в петли нескольких соседних вспышечных ядер – картину, наблюдаемую на Солнце.

Во время вспышки UV Cet 17.9.80 с  $\Delta U = 2.^m$ , спектры которой были зарегистрированы с разрешением 1 Å на 1.9-м телескопе в Южной Африке, Филлипс и др. (1988) нашли уширения линий  $H_\beta$  и  $H_\delta$  около 1 Å, но с заметной красной асимметрией, соответствующей направленным движениям со скоростью около 100 км/с, которые могут быть связаны с движением вниз хромосферной конденсации.

Данные об уширении и смещении эмиссионных линий в спектре EV Lac были получены на 2.6-м Шайновском телескопе в Крыму и на 6-м БТА на Северном Кавказе в ходе ряда кооперативных наблюдений этой звезды. В 1992 году спектральный мониторинг EV Lac в Крыму с разрешением 2.2 Å/пиксел обнаружил 1 и 3 сентября несколько вспышек с заметными амплитудами, и во время этих событий FWHM линии  $H_\beta$  практически не изменялась, но полные ширины линии на уровне 20% и особенно 10% от максимума заметно возросли: появились крылья шириной до 12–15 Å (Абдул-Азиз и др., 1995). 7 профилей этой линии в активных состояниях звезды были представлены парами гауссиан с различными ширинами: с FWHM узких компонентов от 4.0 до 5.7 Å и FWHM широких компонентов – до 21 Å, причем центры этих компонентов в парах оказались разнесены по оси длин волн от +1.3 до -2.2 Å; вблизи максимумов блеска широкий компонент давал более половины общего потока в линии и по мере затухания вспышки эта доля сходилась на нет. Затем эти же профили были представлены суперпозициями от 3 до 7 гауссиан с инструментальными ширинами и с различными смещениями по оси длин волн; в таком представлении среднеквадратичный разброс скоростей компонентов составлял от 400 до 700 км/с. Аналогичные результаты дали наблюдения линии  $H_\beta$  в спектре EV Lac в 1994 году (Абранин и др., 1998). Таким образом, оба представления наблюдаемых профилей свидетельствовали о кинематической неоднородности излучающего во вспышках вещества.

Во время сильной вспышки AT Mic 15.5.92, которая наблюдалась на 1.9-м телескопе Астрономической обсерватории Южной Африки с разрешением  $0.9 \text{ \AA}$  и экспозициями 2–3 минуты, была обнаружена сильная синяя асимметрия в профилях  $H_{\delta}$  и  $H_{\gamma}$  и впервые – в линиях H и K CaII (Ганн и др., 1994a); излучение в синих крыльях линий было сравнимо с излучением их центральных компонентов, а смещения по оси длин волн соответствовали скоростям от 200 до 700 км/с (Ганн и др., 1994b). В отличие от этой вспышки AT Mic, во вспышке YZ CMi 18.5.92 в максимуме появились широкие крылья только у Бальмеровских линий, у линий Ca II этого эффекта не было и уширения водородных линий были симметричны. При разложении этих профилей на суммы двух гауссиан ширины широкого компонента соответствовали скоростям до 250 км/с, и Ганн и др. предположили, что такие компоненты образуются при наложении многих разнонаправленных выбросов в течение экспозиции. В ранее зарегистрированной вспышке AT Mic 21.8.85 с  $\Delta U \sim 4^m$  в максимуме блеска ширины линий  $H_{\gamma}$ – $H_{\beta}$  у основания возросли до  $25 \text{ \AA}$  и это расширение сохранялось, пока был виден усиленный континуум, тогда как линии CaII и в этом случае расширения не обнаружили (Гарсиа-Альварес и др., 2002).

При представлении чисто вспышечных профилей линий вспышки LQ Hya 22.12.93 двумя гауссианами FWHM узкого компонента эмиссии  $H_{\alpha}$  составляла 59–69 км/с и 190–293 км/с – широкого компонента, который в импульсной фазе давал около 80% общего потока в линии; широкий компонент профиля  $H_{\beta}$  в максимуме содержал 86% общего потока в линии, и эта эмиссия затухала несколько быстрее  $H_{\alpha}$ ; в максимуме блеска обе Бальмеровские линии обнаружили небольшое смещение широкого компонента в коротковолновую сторону, которое затем сменилось на смещение другого знака (Монтес и др., 1999).

По нескольким хорошо изученным вспышкам Удебин (1992) так просуммировал поведение ширины эмиссионных линий в их спектрах. FWHM высоких членов Бальмеровской серии на импульсной фазе достигают  $20 \text{ \AA}$  и затем монотонно уменьшаются. На плавной фазе даже при значительных потоках уширение Бальмеровских линий невелико.  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  реже обнаруживают уширение, чем высокие члены серии. Интенсивности линий не коррелируют с ширинами непосредственно ни на импульсной, ни на плавной фазах, но уширение наиболее заметно вблизи максимума блеска в полосе U, и на обеих фазах намечается корреляция этого уширения с абсолютным потоком в U. Слабо уширенная линия K Ca II – около  $1 \text{ \AA}$  – не реагирует на вариации блеска в течение вспышки. Количественный анализ этих данных привел Удебина к выводу, что уширение верхних членов Бальмеровской серии обусловлено эффектом Штарка в среде с плотностью, существенно превышающей плотность в солнечных вспышках, тогда как уширение нижних членов – самопоглощением.

Согласно Аллену (1977), у звезд-карликов K0–M8 отношения масс к квадратам радиусов составляют в солнечных единицах от 1.07 до 6.3. На эти множители вторые космические скорости таких звезд превышают соответствующую скорость Солнца, равную 620 км/с. Таким образом, перечисленные данные наблюдений показывают, что скорости вещества в звездных вспышках, как правило, не превышают эту критическую скорость.

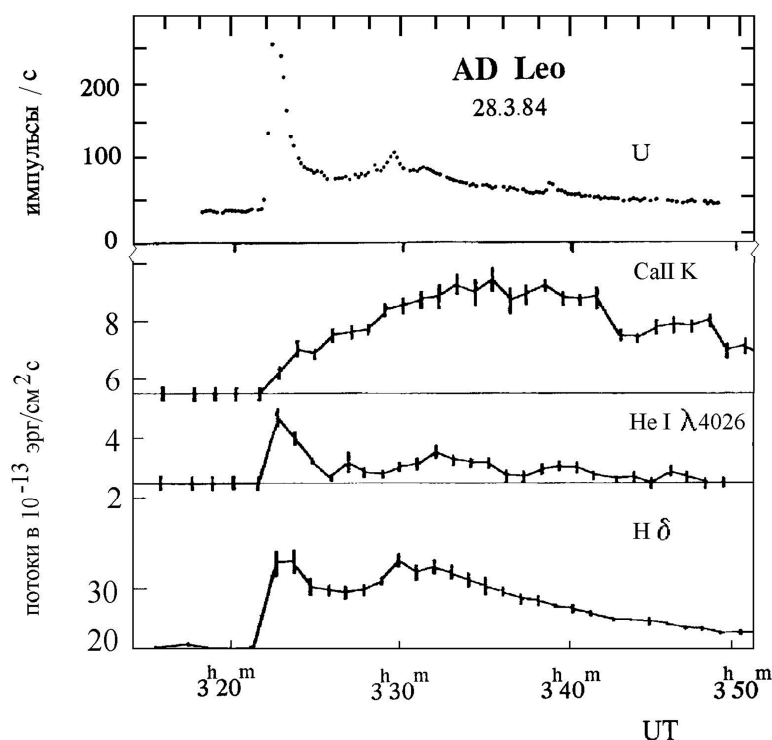
### *Экстремальные скорости вещества во вспышках*

Как уже упоминалось, при наблюдениях на телескопе Хаббла со спектральным разрешением 2000 и временным разрешением 1 с в максимуме сильной вспышки звезды AD Leo 9.5.91 эмиссия CIV в течение 25 с была усилена в 90 раз, а эмиссия SiIV в течение 15 с в 60 раз; усиление линии HeII было вдвое меньшим, а в линиях CI  $\lambda 1561 \text{ \AA}$  и  $\lambda 1656 \text{ \AA}$  вообще не заметно. В первые секунды вспышки линии CIV, SiIV и HeII показали смещенные на +1800 км/с компоненты, но через 25 с это смещение уменьшилось до 600 км/с (Букбиндер и др., 1992).

Во вспышке AD Leo 28.3.84 с  $\Delta U = 2^m$  и длительностью около 50 минут (см. рис. 4) кинематика и динамика излучающего газа были изучены с максимальной детальностью по спектрам, полученным на 3.6-м телескопе Южной Европейской обсерватории с разрешением  $1.7 \text{ \AA}$

Проект «HeII»...

при экспозиции 60 с (Удебин и др., 1990, 1993а, б). Перед началом вспышки в профиле линии Ca II K обнаружили слабые P Cyg компоненты, которые были отождествлены с темными волокнами – типичными предвестниками солнечных вспышек. На импульсной фазе у линии H $\gamma$  было обнаружено синее крыло протяженностью до 80 Å, что соответствует выбросу вещества со скоростью около 5800 км/с, и эта деталь сохранялась в течение нескольких минут, пока вспышечный континуум слабел и практически исчез. Одновременно наблюдалось красное смещение ядер Бальмеровских линий, линий Ca II K и He I  $\lambda$  4026 Å, что соответствует движению вниз хромосферных конденсаций. Оценки Удебина и др. показали, что в этом событии кинетическая энергия составила  $5 \cdot 10^{34}$  эрг, она была в 500 раз, а количество выброшенного вещества в 40 раз больше, чем в типичных солнечных корональных выбросах (СМЕ), и не исключено, что такие события могут привести к потере вещества, которая имеет эволюционное значение для звезды.



**Рис. 4.** Кривые блеска вспышки AD Leo 28.3.84 в полосе U, в эмиссионных линиях кальция, гелия и водорода (Родоно и др., 1989)

При разложении профилей Бальмеровских линий от H $\gamma$  до H $\beta$  в спектре вспышки AD Leo 28.3.84 на две гауссианы Удебин получил FWHM широких компонентов от 22 до 17 Å и узких – от 6.6 до 5.0 Å и заключил, что узкий компонент обусловлен радиативно возбуждаемой хромосферой вокруг вспышки, а широкий – свечением вспышечного ядра, возникающего при глубоком проникновении частиц в слой с плотностью до  $10^{15}$ – $10^{17}$  см $^{-3}$  в первые 30 секунд вспышки; размер такого ядра составлял около  $10^{18}$  см $^2$ , и его свечение было зафиксировано только на первом спектре вспышки. Расширение линии гелия  $\lambda$  4026 Å могло быть обусловлено эффектом Штарка при плотности  $4 \cdot 10^{15}$  см $^{-3}$ , а линии Ca II K до 1.5 Å – макроскопическими движениями.

Совокупность перечисленных данных приводит к выводу, что имеет место реальное и значительное разнообразие в поведении ширин эмиссионных линий в различных вспышках, и

это разнообразие следует сопоставлять с известными свойствами солнечных вспышек, у которых полуширины  $H_\alpha$  в ярких компактных ядрышках достигают 5–10 Å, тогда как вне этих структур они не превышают 1 Å. В тех случаях, когда наблюдается асимметрия профилей, синяя аномалия регистрируется обычно в предмаксимальной фазе, а красная достигает максимального значения в максимуме вспышки. Очевидно, что обе эти асимметрии отражают движения вещества в звездной атмосфере, тогда как вспышечные выбросы дают заметные смещения линий в коротковолновую область спектра.

Согласно Филиппову (2007), на высоте около одного радиуса над поверхностью Солнца корональные выбросы движутся со скоростями 400–750 км/с, но в ходе дальнейшего ускорения эти скорости возрастают в 3–4 раза.

Итак, для уверенного детектирования выбросов вспышечного вещества из звезды, скорость которых достигает от нескольких сотен до тысячи (тысяч) км/с, необходимы спектры с разрешением не хуже 100 км/с, то есть спектрографы с  $R > 3000$ .

## 5 Проект «HeII»

Задача проекта «HeII» состоит в регистрации и изучении звездных выбросов масс в ходе одновременного спектрального мониторинга избранных вспыхивающих звезд в областях линий ионизованного гелия  $\lambda$  1640 Å и  $\lambda$  4686 Å; первая линия будет наблюдаться с космического аппарата WSO/SPECTRUM-UV, вторая – на крымском 2.6-м Шайновском телескопе.

### 5.1 Астрофизический аспект проекта

Для простейшей однородной модели выброса отношение интенсивностей рассматриваемых эмиссионных линий определяется выражением:

$$I_{1640}/I_{4686} = n_3 A_{32} h\nu_{32} / n_4 A_{43} h\nu_{43} = n_3 A_{32} \lambda_{43} / n_4 A_{43} \lambda_{32}, \quad (1)$$

где  $n_3$  и  $n_4$  – плотности ионов HeII на третьем и четвертом энергетических уровнях,  $A$  – эйнштейновские вероятности спонтанных переходов,  $\nu$  и  $\lambda$  – частоты и длины волн рассматриваемых линий. Отношение плотностей ионов можно записать в виде:

$$n_3/n_4 = b_3 g_3 e^{(\Delta E)/kT} / b_4 g_4, \quad (2)$$

где  $b$  – Мензеловские коэффициенты отклонения населенностей от термодинамически равновесных,  $g$  – статистические веса соответствующих уровней,  $\Delta E$  – энергетическая разность рассматриваемых уровней и  $k$  – постоянная Больцмана. Объединяя (1) и (2) и используя атомные константы из публикации Ралченко и др. (2011), получаем:

$$I_{1640}/I_{4686} = 20.1 (b_3/b_4) e^{(87268/T)}. \quad (3)$$

Для расчета выражения, стоящего в (3) после численного коэффициента, необходимо располагать сведениями о кинематике и термодинамике вещества, излучающего гелиевые линии. Пока таких сведений нет. Но если считать, что в звездных корональных выбросах ионизованный гелий светится от верхней хромосферы до короны, то есть его электронная температура заключена в диапазоне от 20000 до 1000000 К, то значение экспоненциального множителя в (3) заключено в диапазоне от 78 до 1.1. Мне не известны расчеты мензеловских коэффициентов для ионизованного гелия. Но из-за сходства структур HeI и HeII можно предполагать и близость соответствующих отношений мензеловских коэффициентов водорода и ионизованного гелия. Обширные расчеты бальмеровских декрементов в диапазоне температур от 10000 до 25000 К и

в диапазоне плотностей от  $10^8$  до  $10^{14}$  см<sup>-3</sup> были опубликованы Гершбергом и Шнолем (1974), и в этой работе приведены мензеловские коэффициенты. В табл. 2 даны отношения  $b_3/b_4$ , вычисленные по этой публикации для указанных диапазонов температур и плотностей и для всего диапазона вероятностей выхода из среды квантов  $Ly_\alpha$  от 1 до 0. Из табл. 2 следует, что в оптически тонких средах для всех рассматриваемых температур и в диапазоне плотностей от  $10^8$  до  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> отношения  $b_3/b_4$  заключены в диапазоне от 1.3 до 1.4, а при плотностях  $10^{14}$  см<sup>-3</sup> эти отношения практически не отличаются от единицы для всех рассмотренных температур и величин вероятностей выхода  $Ly_\alpha$ -квантов из среды. В целом, согласно табл. 2, отношения указанных коэффициентов заключены в диапазоне от 1 до 12.

**Таблица 2.** Отношения мензеловских коэффициентов  $b_3/b_4$  (Гершберг и Шноль, 1974)

$\beta_{12}$ \ $\lg n_e$	1	$10^{-4}$	$10^{-8}$	$\rightarrow 0$
T = 10000 K				
8	1.33	1.65	*	4.78
10	1.33	2.03	5.26	4.74
12	1.37	3.19	3.00	2.96
14	1.08	1.10	1.04	1.04
T = 15000 K				
8	1.31	1.64	7.19	5.19
10	1.31	2.30	5.17	5.17
12	1.38	5.62	3.62	3.62
14	1.09	1.11	1.07	1.07
T = 20000 K				
8	1.30	1.66	5.88	5.39
10	1.31	4.50	5.36	5.36
12	1.38	4.61	4.01	4.01
14	1.09	1.11	1.10	1.10
T = 25000 K				
8	1.31	1.71	5.69	5.53
10	1.31	11.6	5.51	5.51
12	1.40	4.54	4.29	4.29
14	1.11	1.13	1.12	1.12

\* Вероятная опечатка в одном из коэффициентов (Гершберг и Шноль, 1974)

Таким образом, на основании (3) можно ожидать, что, по крайней мере, в хромосфере интенсивность линии  $\lambda$  1640 Å в десятки и сотни раз превышает интенсивность линии  $\lambda$  4686 Å.

## 5.2 Инструментальная часть проекта

Наблюдения линии HeII  $\lambda$  4686 Å в спектрах вспыхивающих звезд предполагается проводить на том же ЗТШ и том же спектрографе СПЭМ, на которых была зарегистрирована вспышка EV Lac 31.8/1.9.94. В ходе тех наблюдений использовалась российская ПЗС-система с Astro-550 ISTA с матрицей 600 x 520 пикселей. При 10-минутной экспозиции отношение S/N достигало 140 в центре линии H $\beta$  и 90 – в прилегающем континууме. Спектральный мониторинг сопровождался фотометрической поддержкой на 1.25-м телескопе АЗТ-11, спектральные экспозиции составляли 15 минут в спокойном состоянии звезды и 5 минут – во время вспышек.

За минувшие годы спектрограф СПЭМ претерпел существенную модернизацию. Под руководством С.Г. Сергеева он преобразован в прибор с дистанционным управлением и на нем установлена американская ПЗС-система.

Что касается возможности наблюдений линии HeII  $\lambda$  1640 Å на телескопе WSO/SPECTRUM-UV, то здесь нет полной ясности. Для этого космического аппарата, кроме двух спектрографов высокого разрешения, в течение долгого времени обсуждались различные варианты спектрографа среднего разрешения с одновременной регистрацией значительного диапазона длин волн. Так, на последнем совещании с участием Виллема Вамстекера в Тюбингене обсуждался спектрограф с разрешением 2500 в далеком ультрафиолете. Но в документе HIRDES Phase A Study Final Report его место занимает спектрограф с высокой щелью (LSS) с разрешением 480, перекрывающий 1100–3500 Å. Это разрешение возвращает нас на 30 лет назад к IUE с разрешением в 6 Å. Сейчас разрабатывается LSS с R = 1000. Такой прибор даст разрешение около 300 км/с и едва ли найдет применение в изучении звезд. До запуска ВКО/СПЕКТР-УФ остается еще несколько лет. И если не удастся вернуться к Тюбингенской схеме, то проект «HeII», естественно, не реализуем.

### 5.3 Программа наблюдений по проекту «HeII»

Если на телескопе WSO/SPECTRUM-UV будет реализована спектральная аппаратура с разрешением, близким к 3000 в далеком ультрафиолете, то нетрудно составить программу наблюдений в рамках обсуждаемого проекта. Список подходящих для наблюдений объектов можно отобрать из табл. 1, исключив из нее тесные двойные звезды – чтобы второй компонент не усложнял анализ суммарного спектра; звезды со склонениями не ниже  $-10^\circ$  – чтобы ЗТШ мог непрерывно не менее нескольких часов отслеживать их на небе; и звезды слабее EV Lac – для достаточно высокого отношения S/N. Эта выборка образует табл. 3.

Таблица 3.

Номера п/п	Имя звезды	Координаты (2000.0)	$m_v$	Спектры
1	2	3	4	5
1	eps Eri	03 32 55.8 -09 27 30	3.73	K2
2	V1005 Ori	04 59 34.8 +01 47 01	10.10	dM0.5e
3	$\chi^1$ Ori	05 54 23.0 +20 16 34	4.41	G0
4	AD Leo	10 19 36.3 +19 52 12	9.47	M4.5e
5	EQ Vir	13 34 43.2 -08 20 31	9.35	dK5e
6	$\xi$ Boo A =GJ 566 A	14 51 23.3 +19 06 02	4.68	G8
7	V1054 Oph	16 55 28.8 -08 20 11	9.02	dM3.5e
8	BY Dra	18 33 55.8 +51 43 09	8.07	dM0e/K6e
9	V1285 Aql	18 55 27.4 +08 24 09	10.19	dM3e
10	GI 752 A	19 16 55.3 +05 10 08	9.11	M3.5Ve
11	EV Lac	22 46 49.7 +44 20 02	10.33	M3.5
12	EQ Peg	23 31 52.2 +19 56 14	10.16	M3.5e + M4.5e

Согласно Алексею и Гершбергу (1997), за 307 часов фотоэлектрического патрулирования звезды EV Lac на ней было зарегистрировано 227 вспышек, в том числе 9 с амплитудой  $\Delta U = 1.^m8$  и выше. Таким образом, сильные вспышки на этой звезде происходят в среднем раз в 30 часов. Следовательно, для уверенной оценки характеристик выбросов этой звезды по линии-



Проект «HeII»...

ям ионизованного гелия необходимо 150–200 часов ее совместного наземного и космического спектрального патрулирования.

Выполнение предлагаемого проекта позволит разобраться еще в одном звездном аналоге явления солнечной активности – корональном выбросе масс.

Я глубоко благодарен Н.В. Стещенко за обсуждение гелиевой эмиссии в солнечных вспышках, П.П. Петрову и С.И. Плачинде за полезные ссылки на публикации, использованные при написании статьи, А.А. Шляпникову и А.В. Теребиж за помощь в ходе выполнения этой работы.

## Литература

- Абранин и др. (Abranin E.P., Alekseev I.Yu., Avgoloupis S., Bazelyan L.L., Berdyugina S.V., Cutispoto G., Gershberg R.E., Larionov V.M., Leto G., Lisachenko V.N., Marino G., Mavridis L.N., Messina S., Mel'nik V.N., Pagano I., Pustil'nik S.V., Rodono M., Roizman G.Sh., Seiradakis J.H., Sigal G.P., Shakhovskaya N.I., Shakhovskoy D.N., Shcherbakov V.A.) // *Astron. Astrophys. Trans.* 1998. V. 17 P. 221.
- Абдул-Азиз и др. (Abdul-Aziz H., Abranin E.P., Alekseev I.Yu., Avgoloupis S., Bazelyan L.L., Beskin G.M., Brazhenko A.I., Chalenko N.N., Cutispoto G., Fuensalida J.J., Gershberg R.E., Kidger M.R., Leto G., Malkov Yu.F., Mavridis L.N., Pagano I., Panferova I.P., Rodono M., Seiradakis J.H., Sergeev S.G., Spencer R.E., Shakhovskaya N.I., Shakhovskoy D.N.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1995. V. 114. P. 509.
- Алексеев и Гершберг (Alekseev I.Yu. and Gershberg R.E.) // *The Earth and the Universe./ Eds Asteriadis G., Contadakis M.E., Katsambalos K., Papadimitriou A. and Tziavos I.N. Aristotle University of Thessaloniki. Ziti Editions.* 1997. P. 43.
- Аллен К.У. // *Астрофизические величины.* М.: Мир. 1977.
- Амбрустер К. В. // *Частное сообщение.* 1995.
- Бальюнас и Раймонд (Baliunas S.L. and Raymond J.C.) // *Astrophys. J.* 1984. V. 282. P. 728.
- Батлер и др. (Butler C.J., Byrne P.B., Andrews A.D., Doyle J.G.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1981. V. 197. P. 815.
- Батлер и др. (Butler C.J., Andrews A.D., Doyle J.G., Byrne P.B., et al.) // *Activity in red dwarf stars./ Eds Byrne P.B. and Rodono M. Reidel. Dordrecht.* 1983. P. 249.
- Батлер и др. (Butler C.J., Doyle J.G., Andrews A.D., Byrne P.B., et al.) // *Astron. Astrophys.* 1987. V. 174. P. 139.
- Бёрн и Дойл (Byrne P.B. and Doyle J.G.) // *Astron. Astrophys.* 1989. V. 208. P. 159.
- Браун (Brown A.) // *Cool stars, stellar systems, and the Sun./ Ed. Caillault J.-P. ASPC Series.* 1994. V. 64. P. 23.
- Бромэйдж и др. (Bromage G.E., Phillips K.J.H., Dufton P.L., Kingston A.E.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. V. 220. P. 1021.
- Бопп и Моффетт (Bopp B.W. and Moffett T.J.) // *Astrophys. J.* 1973. V. 185. P. 239.
- Босгаард и Саймон (Boesgaard A.M. and Simon T.) // *Astrophys. J.* 1984. V. 277. P. 241.
- Бочански и др. (Bochanski J.J., Hawley S.L., Reid I.N., Covey K.R., West A.A., Golimowski D.A., Ivezić Z.) // *AIPC Proc.* 2009. V. 1094. P. 977.
- Букбиндер и др. (Bookbinder J.A., Walter F.M. and Brown A.) // *Cool stars, stellar systems, and the Sun./ Eds Giampapa M.S. and Bookbinder J.A. Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.* 1992. V. 26 P. 27.
- Ван ден Оорд и др. (van den Oord G.H.J., Doyle J.G., Rodono M., Gary D.E., et al.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 310. P. 908.
- Ганн и др. (Gunn A.G., Doyle J.G., Mathioudakis M. and Avgoloupis S.) // *Astron. Astrophys.* 1994a. V. 285. P. 157.

- Ганн и др. (Gunn A.G., Doyle J.G., Mathioudakis M., Houdebine E.R. and Avgoloupis S.) // 1994b. *Astron. Astrophys.* V. 285. P. 489.
- Гарсиа-Альварес и др. (García-Alvarez D., Jevremovic D., Doyle J.G., Butler C.J.) // *Astron. Astrophys.* 2002.V. 383. P. 548.
- Гартманн и др. (Hartmann L., Davis R., Dupree A.K., Raymond J., et al.) // *Astrophys. J.* 1979. V. 233. L69.
- Гершберг Р.Е. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2007. Т. 103. № 2. С. 210.
- Гершберг Р.Е. и Чугайнов П.Ф. // *Астрон. журн.* 1966. Т. 43. С. 1168.
- Гершберг Р.Е. и Чугайнов П.Ф. // *Астрон. журн.* 1967. Т. 44. С. 260.
- Гершберг Р.Е. и Шаховская Н.И. // *Астрон. журн.* 1971. Т. 48. С. 934.
- Гершберг Р.Е. и Шноль Э.Э. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1974. Т. 50. С. 122.
- Гершберг Р.Е., Теребиж А.В., Шляпников А.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2011. Т. 107. № 1. С. 18.
- Гринстейн и Арп (Greenstein J.L. and Arp H.) // *Astrophys. Lett.* 1969. V. 3. P. 149.
- Гэри и др. (Gary D.E., Byrne P.B. and Butler C.J.) // *Cool stars, stellar systems, and the Sun./ Linsky J.L. and Stencel R.E. Lecture Notes in Physics.* 1987. V. 291. P. 106.
- Джой (Joy A.H.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1958. V. 70. P. 505.
- Джой и Хьюмасон (Joy A.H. and Humason M.L.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1949. V. 61. P. 133.
- Дойл (Doyle J.G.) // *Astron. Astrophys.* 1989. V. 218. P. 195.
- Дрейк и др. (Drake J.J., Brown A., Bowyer S., Jelinsky P., et al.) // *Cool stars, stellar systems, and the Sun./ Ed. Caillault J.-P. Astron. Soc. Pacific. Conf. Ser.* 1994. V. 64. P. 35.
- Исон и др. (Eason E.L., Giampapa M.S., Radick R.R., Worden S.P. and Hege E.K.) // *Astron. J.* 1992. V. 104. P. 1161.
- Калли и др. (Cully S.L., Fisher G.H., Hawley S.L. and Simon T.) // *Astrophys. J.* 1997. V. 491. P. 910.
- Кацова и др. (Katsova M.M., Drake J.J. and Livshits M.A.) // *Astrophys. J.* 1999. V. 510. P. 986.
- Линский и др. (Linsky J.L., Wood B.E., Brown A., Giampapa M.S., Ambruster C.) // *Astrophys. J.* 1995. V. 455. P. 670.
- Монсиньори Фосси и Ландини (Monsignor Fossi B.C. and Landini M.) // *Astron. Astrophys.* 1994. V. 284. P. 900.
- Монсиньори Фосси и др. (Monsignor Fossi B.C., Landini M., Del Zanna G., and Bowyer S.) // *Astrophys. J.* 1996. V. 466. P. 427.
- Монсиньори Фосси и др. (Monsignor Fossi B.C., Landini M., Drake J.J., and Cully S.L.) // *Astron. Astrophys.* 1995a. V. 302. P. 193.
- Монсиньори Фосси и др. (Monsignor Fossi B.C., Landini M., Fruscione A., Dupuis J.) // *Astrophys. J.* 1995b. V. 449. P. 376.
- Монтес и др. (Montes D., Saar S.H., Collier Cameron A. and Unruh Y.C.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1999. V. 305. P. 45.
- Пагано и др. (Pagano I., Linsky J.L., Carkner L., Robinson R.D., et al.) // *Astrophys. J.* 2000. V. 532. P. 497.
- Петров П.П., Чугайнов П.Ф., Щербаков А.Г. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1984. Т. 69. С. 3.
- Ралченко и др. (Ralchenko Yu., Kramida A.E., Reader J. and NIST ASD Team) // *National Institute of Standards and Tehnology. Gaithersburg. MD.* 2011.
- Редфилд и др. (Redfield S., Linsky J.L., Ake T.B., Ayres T.R., Dupree A.K., Robinson R.D., Wood B.E., Young P.R.) // *Astrophys. J.* 2002. V. 581. P. 626.
- Родано и др. (Rodonò M., Houdebine E.R., Catalano S., Foing B., et al.) // *Solar and stellar flares./ Eds Haisch B.M. and Rodono M. Catania Astrophysical Observatory Special Publication.* 1989. P. 53.
- Стешенко Н.В., Хохлова В.Л. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1960. Т. 24. С. 258.

Проект «HeII»...

- Удебин (Houdebine E.R.) // *Irish Astron. J.* 1992. V. 20. P. 213.
- Удебин и др. (Houdebine E.R., Foing B.H. and Rodonò M.) // *Astron. Astrophys.* 1990. V. 238. P. 249.
- Удебин и др. (Houdebine E.R., Foing B.H., Doyle J.G. and Rodonò M.) // *Astron. Astrophys.* 1993a. V. 274. P. 245.
- Удебин и др. (Houdebine E.R., Foing B.H., Doyle J.G. and Rodonò M.) // *Astron. Astrophys.* 1993b. V. 278. P. 109.
- Филиппов Б.П. // *Эруптивные процессы на Солнце*. М.: Физматлит. 2007.
- Филлипс и др. (Phillips K.J.H., Bromage G.E., Dufton P.L., Keenan F.P. and Kingston A.E.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1988. V. 235. P. 573.
- Фурмайстер и др. (Fuhrmeister B., Liefke C., Schmitt J.H.M.M.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 468. P. 221.
- Хайш и др. (Haisch B.M., Linsky J.L., Bornmann P.L., Stencel R.E., et al.) // *Astrophys. J.* 1983. V. 267. P. 280.
- Хайш и др. (Haisch B.M., Schmitt J.H.M.M., Rodono M. and Gibson D.M.) // *Astron. Astrophys.* 1990. V. 230. P. 419.