

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ  
НАБЛЮДЕНИЯ ТТ АRI. IIIН.Д.МЕЛИКЯН<sup>1</sup>, В.С.ТАМАЗЯН<sup>2</sup>, Х.А.ДОКОБО<sup>3</sup>, А.А.КАРАПЕТЯН<sup>1</sup>,  
Г.Р.КОСТАНДЯН<sup>1</sup>, А.А.ХЕНДЕН<sup>3</sup>

Поступила 28 апреля 2010

Принята к печати 25 мая 2010

Новоподобная катаклизмическая переменная (CV) ТТ Агi в ноябре 2009г. зарегистрирована в ее втором глубоком минимуме. Изучение фазы эволюции очень важно в исследованиях природы CVs подгруппы VY Scl. В этой фазе сильно изменилось распределение энергии в спектре звезды. Эмиссионные линии элементов высокого возбуждения, такие как HeII  $\lambda 4686$  и NIII/СIII, а также широкие абсорбции бальмеровской серии водорода, образовавшиеся в фотосфере белого карлика или в нижних слоях аккреционного диска, исчезли. Среднее значение отношения интенсивностей эмиссионных линий бальмеровской серии водорода в нормальном состоянии и в фазе глубокого минимума можно объяснить в рамках простой фотоионизационно-рекомбинационной модели. В то же время отношения интенсивностей триплет-синглет уровней нейтрального гелия HeI  $\lambda 5876$  / HeI  $\lambda 6678$  в нормальном состоянии звезды и в глубоком минимуме сильно отличаются. В глубоком минимуме в спектре звезды обнаружены очень слабый след полосы G на длине волны  $\lambda 4300 \text{ \AA}$  и вспышкообразные события с амплитудами до  $\Delta m \approx 2^m.0$  и более. Выщепленное и некоторые наблюдательные характеристики позволяют заключить, что в глубоком минимуме зарегистрировано, в основном, излучение вторичного компаньона двойной системы, который с большой вероятностью является звездой типа Т Тау спектрального класса раннего К.

Ключевые слова: *звезды: спектры - объект: ТТ Агi*

1. *Введение.* Катаклизмические переменные звезды (CVs) представляют собой широкий класс переменных, тесно связанных с эруптивными явлениями и мощными выбросами вещества. На основе статистических исследований показано, что горячие главные компоненты CVs должны быть или белыми карликами (WD), или же горячими субкарликами [1-3]. Амплитуды вспышек этих звезд могут достигать  $5^m$  в V-лучах [4]. В оптическом диапазоне спектра эти объекты показывают сильные эмиссионные линии водорода, линии HeI, HeII и линии других элементов высокого возбуждения.

Компаньоны CVs являются карликами спектрального класса К или М, принадлежащими к Главной последовательности. В зависимости от силы магнитного поля белого карлика, катаклизмические переменные делятся на две широкие группы: дисковые (DCVs) и магнитные (MCVs) [5,6]. Размеры внутреннего диаметра аккреционного диска у MCVs определяются силой магнитного поля.

Звезда ТТ Агi (BD+14341) принадлежит к группе катаклизмических

переменных типа VY Scl. Она классифицирована также как новоподобная (NL) переменная [7], и является DCVs. TT Aгi является тесной двойной системой, вторичный компаньон которой принадлежит к спектральному классу M3.5 Главной последовательности [8,9]. Звезда TT Aгi, как DCVs [10], обладает хорошо развитым аккреционным диском; показывает изменения блеска в пределах  $10^m.2 - 14^m.5$  в  $V$ -лучах [4], но иногда погружается в состояние глубокого минимума (deep low state)  $V=16^m.5$ , где может находиться очень долго [8,11]. По крайней мере первый глубокий минимум, зарегистрированный у звезды в 1982г., продолжался 3-3.5 года.

В спектрах звезды хорошо видны некоторые эмиссионные линии элементов высокого возбуждения, характерные для очень горячих звезд. Предполагается, что широкое поглощение образуется во внутренних слоях аккреционного диска и в фотосфере белого карлика, а в дальнейшем получает дополнительное расширение в результате эффекта давления [12,13] и в некоторой степени благодаря быстрому вращению звезды.

Наши первые наблюдения TT Aгi [13] позволили зарегистрировать некоторые интересные детали, отличные от ранее полученных результатов [8,12]. В частности, было зарегистрировано отсутствие эмиссионной линии  $H\gamma$ , и анти P Cygni профиля линии  $H\alpha$ . Зарегистрированы быстрые изменения P Cygni профиля в период наблюдений и зафиксирована определенная корреляция между величинами  $EW(H\alpha)$  и  $EW(H\beta)$  [13,14]. Дальнейшие наблюдения подтвердили наличие этой корреляции, и показали, что подобная корреляция существует между всеми эмиссионными линиями, за исключением эмиссии NIII/CIII [14]. Впервые у звезды TT Aгi была зарегистрирована эмиссия в линиях CIV  $\lambda 5801\text{\AA}$  и  $\lambda 5812\text{\AA}$ . Предполагается, что наблюдаемые изменения симметричности широких абсорбций могут быть следствием изменения P Cyg профиля линии.

В ноябре 2009г. наблюдения звезды проводились при падении яркости на несколько звездных величин, во время второго "глубокого минимума" или на пути к нему. В настоящей работе приводятся результаты спектральных и фотометрических наблюдений, выполненных в 2008 и 2009гг., а также использованы некоторые фотометрические данные из архива AAVSO[15].

**2. Наблюдения.** Спектральные наблюдения звезды TT Aгi выполнены на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории. Получены 36 спектров с помощью приемной аппаратуры VyuFOSC, установленной в первичном фокусе телескопа. При наблюдениях была использована CCD-камера со светопринимающим элементом фирмы "Thomson" размером 2060 x 2028 pix. Наблюдения проводились в октябре и декабре 2008г., и в ноябре 2009г. В качестве стандартных звезд, как и во время наших предыдущих наблюдений, были использованы звезды G191 B2B и GSC 1207-1562. Тридцать два

спектра звезды при ее яркости  $10^m.5 - 11^m.0$  получены с 5-минутными экспозициями, а 4 спектра, полученные во время глубокого минимума, с 30-минутными экспозициями. При фотометрии в качестве звезд сравнения были использованы звезды "с" ( $V=10^m.99$ ;  $B-V=0^m.69$ ) и "d" ( $V=11^m.02$ ;  $B-V=1^m.15$ ) [16]. Две разные гризмы (1800 штр./мм и 600 штр./мм) были использованы при наблюдениях, соответственно, с дисперсиями  $0.6 \text{ \AA}/\text{пикс.}$  ( $\lambda\lambda 5650 - 6750 \text{ \AA}$ ) и  $1.7 \text{ \AA}/\text{пикс.}$  ( $\lambda\lambda 4200 - 7200 \text{ \AA}$ ). 22 спектра получены с дисперсией  $0.6 \text{ \AA}/\text{пикс.}$  и 14 спектров - с дисперсией  $1.7 \text{ \AA}/\text{пикс.}$  При обработке спектров и при фотометрии был применен программный пакет MIDAS со стандартной процедурой редукции астрономических данных. Программный пакет Origin 6.0 был использован при измерениях эквивалентных ширин ( $EW$ ) эмиссионных линий. Ошибки измерений  $EW$  составили  $0.1 - 0.3 \text{ \AA}$ , а фотометрические ошибки находятся в пределах  $0^m.03 - 0^m.07$ . Качество изображения во время наблюдений не превышает

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

	Дата набл.	Спектр No	JD 2454000+	Время интег. (с)		Дата набл.	Спектр No	JD 2454000+	Время интег. (с)
1	20.10.2008	BC210012	761.0027	300	20		BC212026	771.9703	300
2		BC210013	761.0089	300	21		BC212027	771.9761	300
3		BC210014	761.0182	300	22		BC212028	771.9834	300
4		BC210015	761.0242	300	23	01.12.2008	BC226009	802.9176	300
5	31.10.2008	BC212011	771.8602	300	24		BC226010	802.9232	300
6		BC212012	771.8669	300	25		BC226011	802.9279	300
7		BC212013	771.8734	300	26		BC226012	802.9325	300
8		BC212014	771.8796	300	27		BC226013	802.9372	300
9		BC212015	771.8858	300	28		BC226014	802.9418	300
10		BC212016	771.8917	300	29		BC226015	802.9465	300
11		BC212017	771.8976	300	30		BC226016	802.9511	300
12		BC212018	771.9039	300	31		BC226017	802.9558	300
13		BC212019	771.9098	300	32		BC226018	802.9604	300
14		BC212020	771.9156	300	33		BC226019	802.9650	300
15		BC212021	771.9214	300	34	12.11.2009	BC288015	1148.8453	1800
16		BC212022	771.9274	300	35		BC288016	1148.8682	1800
17		BC212023	771.9335	300	36	13.11.2009	BC289006	1149.9178	1800
18		BC212024	771.9395	300	37		BC289007	1149.9402	1800
19		BC212025	771.9457	300					

2 угл. с. Данные о полученных спектрах приводятся в табл.1. В соответствующих столбцах этой таблицы приводятся порядковый номер и дата наблюдений (UT), номер спектра по журналу наблюдений, начало каждой экспозиции (JD) и время интегрирования в секундах.

3. *Результаты наблюдений.* Наши спектральные наблюдения,

выполненные в ноябре 2009г., свидетельствуют, что звезда вошла в фазу своего второго глубокого минимума [17]. Первые признаки о падении блеска ТТ Агі появились в конце сентября 2009г. и подтвердились уже 3 октября [18]. Используя фотометрические данные архива AAVSO [15], мы показали, что падение блеска звезды началось не раньше 25 сентября 2009г. Наблюдения ТТ Агі 16 октября 2009г. (UT — 01<sup>h</sup>31<sup>m</sup>-09<sup>s</sup>02<sup>m</sup>) показывают падение блеска в визуальных лучах на величину  $\sim 3^m.7$  и наличие сильных рентгеновских потоков [19]. Фотометрические наблюдения в начале июля 2009г. показывают, что блеск звезды  $R \sim 11^m.21$  [20] соответствует нормальному блеску звезды в фазе "negative superhump" [21].

**3.1. Фотометрические наблюдения.** Фотометрические измерения в V-лучах, выполненные в 2008г., показывают, что ТТ Агі имеет средний блеск  $m_V = 10^m.5 \pm 0^m.3$ . Во время наблюдений 12 и 13 ноября 2009г. зарегистрировано сильное падение блеска соответственно на  $m_V = 14^m.9$  (12 ноября) и  $m_V = 15^m.1$  (13 ноября). Используя данные из [18,19], наши наблюдения и данные архива AAVSO [15], можно грубо построить кривую блеска звезды в интервале JD 2455100 - JD 2455149 (см. рис.1). Как видно из рисунка, градиент быстрого падения блеска порядка  $\sim 0^m.08/\text{день}$ , и даже

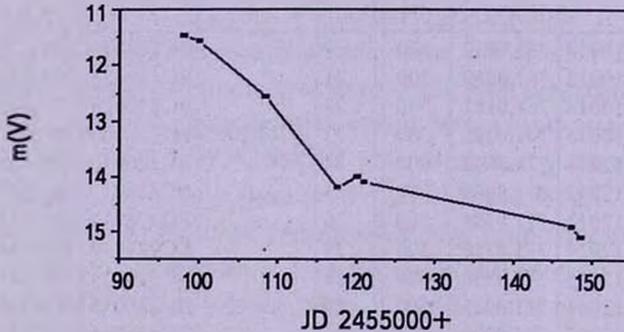


Рис.1. Кривая падения блеска звезды ТТ Агі по нашим наблюдениям и уже опубликованным данным.

больше, если учесть, что наши спектральные наблюдения охватывают отдельные сильные повышения блеска, зарегистрированные во время глубокого минимума.

Кривая блеска звезды ТТ Агі AAVSO [15] показывает, что существует медленное падение яркости в течение 3 месяцев, начиная с конца июня, за две недели до наблюдений Андропова и др. [20]. За это время зарегистрировано монотонное падение блеска от  $11^m$  до  $11^m.5$ , с колебаниями блеска  $0^m.2 - 0^m.5$ . Неизвестно, предшествует ли такое медленное падение блеска звезды первому глубокому минимуму или нет. Вероятно оно связано с быстрым падением блеска к глубокому минимуму. В настоящее время звезда ТТ Агі, находясь в глубоком минимуме, показывает быстрые изменения блеска от  $V = 16^m.5$  до  $V = 14^m.5$  с продолжительностью от нескольких минут

до часов [22]. Такие вспышкообразные изменения, типичные для вспыхивающих звезд типа UV Cet, зарегистрированы также у звезды AM Her в ее глубоком минимуме во время фотометрического мониторинга звезды [23,24]. На рис.2а,б показаны вспышкообразные повышения блеска звезды ТТ Агі на уровне настоящего глубокого минимума ( $V=16^m.5$ ). Кривые на рисунке построены на основе фотометрических данных AAVSO [15], где показаны участки времени получения наших спектров 12 и 13 ноября 2009г. Как видно, 3 спектра по времени совпадают с такими вспышкообразными

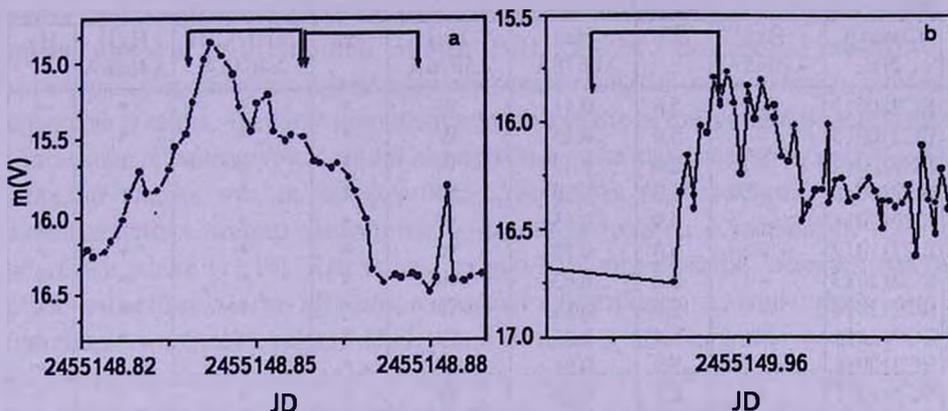


Рис.2а, б. Вспышкообразные повышения блеска звезды ТТ Агі согласно фотометрическим данным AAVSO [15]. На рисунке показаны отрезки получения 3 спектров 12 и 13 ноября 2009г.

повышениями. Во время получения 4-го спектра фотометрические измерения отсутствуют. На рис.2а,б на оси ординат отложена звездная величина  $V$ , а на оси абсцисс - JD. Вспышкообразные повышения на рис.2а,б имеют довольно сложную структуру. Зарегистрированные амплитуды этих повышений в  $V$ -лучах равны  $\Delta m \approx 1^m.6$  (рис.2а) с продолжительностью 80 мин и  $\Delta m \approx 0^m.6$  (рис.2б) с продолжительностью 29 мин. Как видно из рис.2а, полученные 2 спектра охватывают большую часть повышения, а во втором случае (рис.2б) спектр охватывает только начальную часть повышения. К сожалению эти повышения блеска зарегистрированы только в  $V$ -лучах, а низкое временное разрешение спектральных наблюдений не позволяет подробно исследовать характер этих кратковременных изменений яркости.

**3.2. Спектральные наблюдения.** Настоящие спектральные наблюдения звезды ТТ Агі в основном получены при яркости звезды  $10^m.5 - 11^m$  (октябрь-декабрь, 2008г.), и лишь последние 4 спектра (см. табл.1) получены во время глубокого минимума (deep low state) 12 и 13 ноября 2009г. Спектры, полученные вне глубокого минимума, в среднем идентичны с ранее полученными [13,14]. Как и во время ранних наблюдений зарегистрированы слабые колебания блеска и изменения эквивалентных

ширин спектральных линий.

Во всех спектральных исследованиях звезды TT Aг1 было уделено особое внимание эмиссионным линиям бальмеровской серии водорода, дважды ионизованного азота NIII и углерода CIII и многочисленным линиям ионизованного и нейтрального гелия. Эмиссионные линии водорода и

Таблица 2

## ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Спектр No	HeI λ7065A	Ha	HeI λ6678A	HeI λ5876A	Hβ	NIII/CIII λ4645A	HeII λ4686A	Hγ
BC210012	-	5.6	0.41	W	*	*	*	*
BC210013	-	5.4	0.45	W	*	*	*	*
BC210014	-	5.4	0.47	W	*	*	*	*
BC210015	-	5.0	0.35	W	*	*	*	*
BC212011	-	4.9	0.65	W	*	*	*	*
BC212012	-	5.0	0.79	W	*	*	*	*
BC212013	-	5.2	0.63	W	*	*	*	*
BC212014	-	5.6	0.86	W	*	*	*	*
BC212015	-	5.4	0.66	W	*	*	*	*
BC212016	-	5.9	0.81	W	*	*	*	*
BC212017	-	6.3	0.86	W	*	*	*	*
BC212018	-	5.6	0.56	W	*	*	*	*
BC212019	-	5.5	0.44	W	*	*	*	*
BC212020	-	5.0	0.62	W	*	*	*	*
BC212021	-	4.5	0.57	W	*	*	*	*
BC212022	-	5.8	0.72	W	*	*	*	*
BC212023	-	5.2	0.79	W	*	*	*	*
BC212024	-	5.9	0.49	W	*	*	*	*
BC212025	-	5.2	0.28	W	*	*	*	*
BC212026	-	5.6	0.52	W	*	*	*	*
BC212027	-	5.4	0.39	W	*	*	*	*
BC212028	-	5.7	0.63	W	*	*	*	*
BC226010	-	4.9	0.63	0.2	1.0	1.42	0.1	0.6
BC226011	-	4.8	0.63	0.4	0.9	1.39	0.1	0.6
BC226012	-	5.4	0.94	0.2	1.1	0.95	0.4	0.6
BC226013	-	7.4	0.56	0.3	1.6	0.66	0.4	1.0
BC226014	-	7.4	1.09	0.6	2.2	0.38	0.6	1.8
BC226015	-	7.2	0.83	0.3	1.9	0.59	0.4	1.2
BC226016	-	6.9	1.15	0.4	1.8	0.68	0.3	1.0
BC226017	-	6.7	1.17	0.3	1.8	0.99	0.3	0.7
BC226018	-	6.6	0.76	0.3	2.1	0.59	0.5	1.4
BC226019	-	6.7	0.92	0.3	2.2	0.83	0.3	1.4
BC288015	9.8	118.8	11.53	17.2	39.2	-	-	15.2
BC288016	10.2	117.4	9.71	16.4	36.9	-	-	14.4
BC289006	8.9	104.4	7.1	13.8	34.7	-	-	11.2
BC289007	9.5	106.3	8.24	13.6	29.3	-	-	11.5

Примечание. Буква "W" означает, что линия очень слабая; знак "\*" - линия находится вне пределов полученного спектра и "-" - отсутствие линии

нейтрального гелия, часто встречающиеся на фоне широкого и глубокого поглощения, характерны также для многих катаклизмических переменных, карликовых новых и новоподобных звезд. Все эти линии зарегистрированы также на наших спектрах. Следует отметить, что и в нормальном состоянии звезды, и во время глубокого минимума эмиссионные линии нейтрального гелия HeI  $\lambda 4922\text{\AA}$  и HeI  $\lambda 5016\text{\AA}$ , по-видимому, блендируются с линиями ионизованного железа FeII  $\lambda 4924\text{\AA}$  и FeII  $\lambda 5018\text{\AA}$ . Но, если в нормальном состоянии звезды эти линии слабы, то во время глубокого минимума они, как и другие эмиссионные линии, достаточно сильны. Усиливается также интенсивность эмиссионной линии FeII  $\lambda 5169\text{\AA}$ . Во время глубокого минимума усиливаются интенсивности всех остальных эмиссионных линий водорода и гелия. В табл.2 приводятся эквивалентные ширины  $EW$  наиболее интенсивных эмиссионных линий, измеренные на каждом полученном спектре. Хорошо видно, что за исключением последних 4-х спектров, значения эквивалентных ширин эмиссионных линий сравнимы с таковыми, полученными ранее [13,14]. Как видно из рис.2a,b, три спектра, полученные в глубоком минимуме, по времени совпадают с быстрыми, вспышкообразными изменениями блеска звезды. Интересно отметить, что большим амплитудам вспышкообразных изменений в среднем соответствуют большие значения эквивалентных ширин эмиссионных линий. Во время глубокого минимума зарегистрированы усиления эквивалентных ширин эмиссионных линий от 10 до 30 раз и более (см. табл.2). На рис.3a, b показаны 2 спектра звезды ТТ Aг1, полученные в нормальном состоянии ( $m_V \approx 10^{\text{m}}.4$ ) 1-го декабря 2008г.

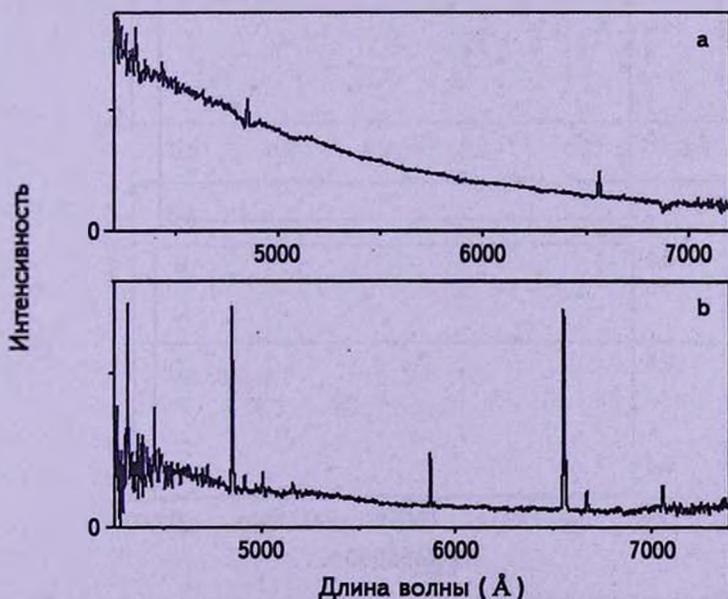


Рис.3а, б. Спектры звезды ТТ Aг1, полученные в нормальном состоянии 1-го декабря 2008г. (рис.3а), и во время глубокого минимума 13-го ноября 2009г. (рис.3б).

(рис.3а) и во время глубокого минимума ( $m_V \approx 15^m.1$ ) 13-го ноября 2009г. (рис.3б). На рисунке видно сильное изменение распределения энергии в спектре звезды. Широкие абсорбции H $\beta$  и H $\gamma$  во время глубокого минимума отсутствуют (рис.3б), тогда как на рис.3а они хорошо видны и их крылья простираются на величину до 2000 км/с. Во время глубокого минимума отсутствуют также эмиссии в NIII/CIII и HeII  $\lambda 4686\text{\AA}$ , но уже хорошо видны сливающиеся друг с другом линии HeI  $\lambda 4922\text{\AA}$  и FeII  $\lambda 4924\text{\AA}$ , HeI  $\lambda 5016\text{\AA}$  и FeII  $\lambda 5018\text{\AA}$ , а также эмиссия в линии FeII  $\lambda 5169\text{\AA}$ , которые вне минимума были еле заметны. Измеренные эквивалентные ширины этих линий в глубоком минимуме принимают значения от 2.0  $\text{\AA}$  до 4.5  $\text{\AA}$ , тогда как в нормальном состоянии они очень малы. В глубоком минимуме на всех спектрах зарегистрирована слабая, но четко выделяющаяся линия HeI  $\lambda 4471\text{\AA}$  в эмиссии. Появляются очень слабые эмиссии в HeI  $\lambda 4713\text{\AA}$  и FeII  $\lambda 5261\text{\AA}$ . Абсорбция NaD, которая хорошо видна на всех спектрах звезды в ее нормальном состоянии, в глубоком минимуме почти полностью заливается сильной эмиссией HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$ .

Восемнадцать спектров звезды TT Agi, полученные 31 октября 2008г., почти покрывают орбитальный период изменения блеска. Отметим, что все эти спектры охватывают спектральный диапазон  $\lambda\lambda 5650 - 6750\text{\AA}$  и получены со спектральным разрешением 0.6  $\text{\AA}$ /пикс. На этих спектрах эмиссия линии He  $\lambda 5876\text{\AA}$  и поглощение в линии NaD едва заметны и не поддаются измерениям. На рис.4а, б показаны изменения эквивалентных ширин

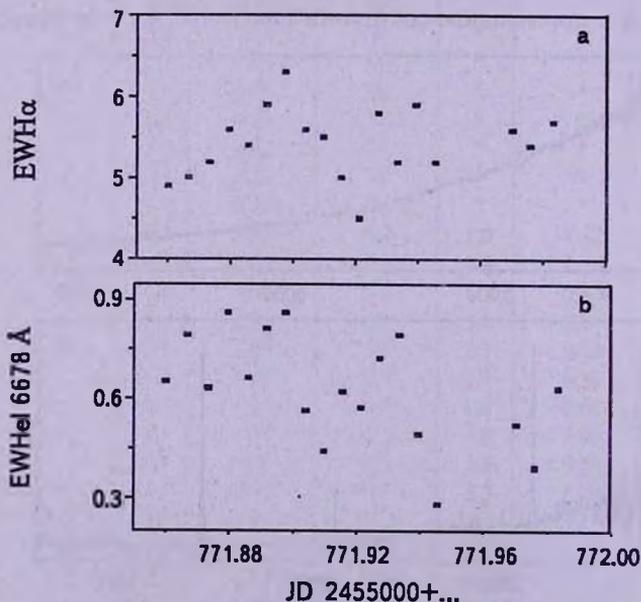


Рис.4а, б. Показаны изменения эквивалентных ширин эмиссионных линий H $\alpha$  (4а) и HeI  $\lambda 6678\text{\AA}$  (4б), измеренные на 18 спектрах, полученных в течение одного орбитального периода звезды. Не замечается строгой корреляции интенсивностей с орбитальным периодом.

эмиссионных линий  $H\alpha$  и  $HeI\ 6678\text{\AA}$ , измеренные на вышеуказанных 18 спектрах. На рисунке на оси абсцисс отложены Юлианские дни (JD), а на оси ординат - эквивалентные ширины (EW). Как видно из рис.4a,b, наблюдаются изменения эквивалентных ширин, намного превосходящие ошибки измерений. Однако по ним трудно судить о периодическом характере этих изменений. Не замечается сильной корреляции интенсивностей линий с орбитальным периодом.

На рис.5a, b приводится зависимость эквивалентных ширин от фазы орбитального периода. Фаза орбитального периода для каждого полученного спектра вычислена с помощью эфемерид, полученных на основе богатого наблюдательного материала с точностью до  $9 \times 10^{-8}$  день [7,25]

$$T_0 = \text{HJD } 2443729.009 + 0.13755050n,$$

где  $n$  - число циклов и  $T_0$  - момент максимума. На рис.5a представлены эквивалентные ширины линий  $H\alpha$  и  $HeI\ 6678\text{\AA}$ , измеренных на всех 32 спектрах, а на рис.5b - отдельно для 10 спектров из 32, полученных в интервале фазы орбитального периода 0.51-0.86 1-го декабря 2008г. Из рис.5 следует, что, по-видимому, помимо фазовых изменений эквивалентных ширин действует и другой физический механизм изменения интенсивностей

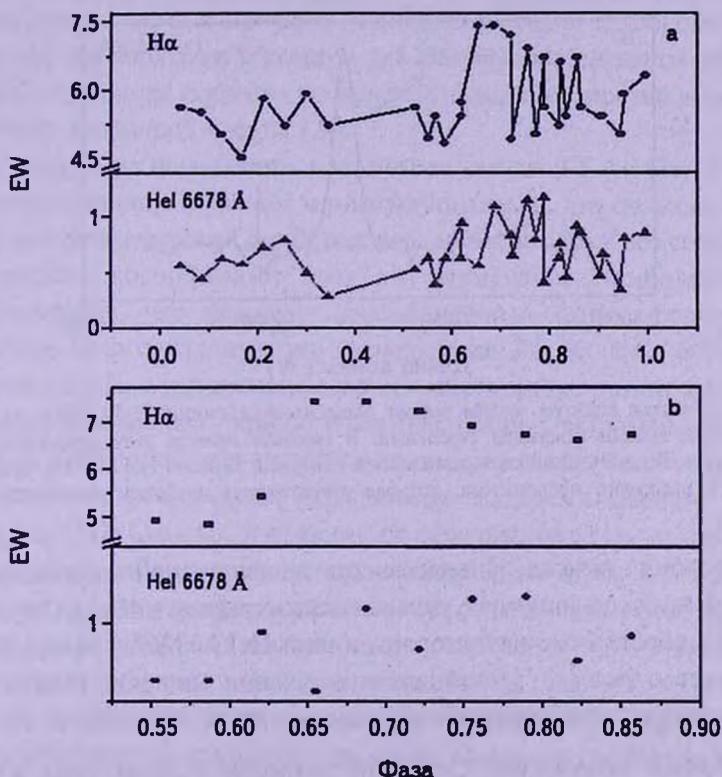


Рис.5a, b. Зависимость эквивалентных ширин линий  $H\alpha$  и  $HeI\ 6678\text{\AA}$  от фазы, измеренных на всех полученных спектрах (5a) и отдельно для 10 спектров (5b). 10 спектров (5b) получены в интервале фазы орбитального периода 0.51-0.86, 1-го декабря 2008г.

эмиссионных линий.

На рис.6а, б показан участок спектра звезды вокруг эмиссионной линии HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$ , где видна также линия поглощения NaD. На рисунке стрелками показаны эти линии. В верхнем правом углу приводится дата получения спектра. Видно, что в нормальном состоянии звезды (рис.6а) узкая эмиссия HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$  находится почти в центре широкого поглощения. Некоторая асимметрия широкого поглощения с длинноволновой стороны линии HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$  вероятно обусловлена влиянием NaD. Спектр звезды на рис.6б, получен во время глубокого минимума. На рисунке хорошо видно, что

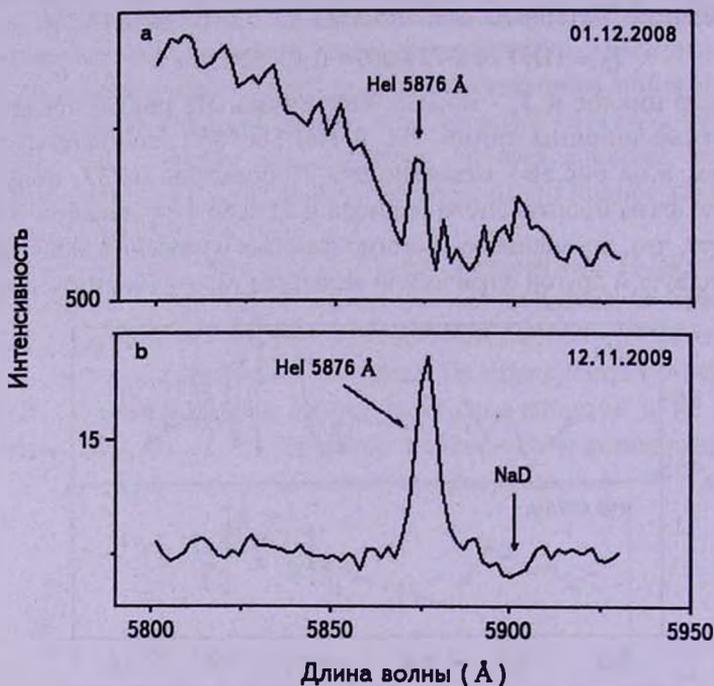


Рис.6а, б. Участок спектра звезды вокруг эмиссионной линии HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$  и линии поглощения NaD. Линии показаны стрелками. В верхнем правом углу приводится дата получения спектра. В нормальном состоянии звезды (6а) узкая эмиссия HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$  находится почти в центре широкого поглощения, которая отсутствует в глубоком минимуме (6б).

широкая абсорбция исчезла. Интенсивность эквивалентной ширины линии HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$  в глубоком минимуме увеличивалась в среднем в 46 раз. Отсутствие поглощения с коротковолновой стороны линии HeI  $\lambda 5876\text{\AA}$ , по-видимому, свидетельствует о полном прекращении истечения материи. Идентичные изменения спектра зарегистрированы также в линиях H $\alpha$ , H $\beta$  и H $\gamma$ .

4. *Глубокий минимум.* Глубокий минимум у звезд типа VY ScI зарегистрирован как у DCVs, так и у MCVs. Появление и продолжительность этого явления случайны и непредсказуемы. Предполагается, что это фаза,

когда аккреционный диск полностью отсутствует, или же его доля в излучении системы доходит до минимума. Следовательно, эта фаза звезд типа VY Scl дает возможность хотя бы частично исследовать оба компонента системы отдельно. И это единственный случай, когда можно следить за активностью второго компаньона. Так, например, во время глубокого минимума звезды AM Her в 1992г. зарегистрирована вспышка, типичная для звезд типа UV Cet [23]. Кафка и др. [24] зарегистрировали целую серию вспышек у этой звезды во время фотометрического мониторинга. Как уже сказано выше, вторичные компаньоны в системах катаклизмических переменных обычно являются красными карликами. Предполагается, что в двойной системе ТТ Aг1 вторичный компаньон является красным карликом спектрального класса M3.5 [8,9]. Проявление активности вторичных компаньонов у катаклизмических переменных AM Her, ST LMi и VV Pup в стадии их глубокого минимума неоднократно отмечалось и достаточно хорошо исследовано [5,23,24,26-28]. Все эти исследования свидетельствуют о том, что зарегистрированная активность в стадии глубокого минимума у катаклизмических переменных звезд типа VY Scl, в основном, обусловлена хромосферной активностью вторичной звезды системы. В итоге, исследования геометрии аккреционного диска и природы последней в стадии глубокого минимума звезды AM Her позволяют выдвинуть два возможных объяснения наблюдаемых явлений: остаточная аккреция во время глубокого минимума и вспышечная активность вторичной звезды [24].

Рассмотрение физических параметров звезды ТТ Aг1 [11] в ее первом зарегистрированном глубоком минимуме показало, что сильные эмиссионные линии бальмеровской серии водорода и HeI продолжают сосуществовать с широкими абсорбциями этих же элементов. Наиболее вероятно предположение, что широкие абсорбционные линии формируются в фотосфере белого карлика при температуре  $T \geq 50000$  К, согласно IUE спектров звезды, а интенсивные узкие эмиссионные линии в хромосфере вторичного компаньона - красного карлика. Наши спектральные наблюдения ТТ Aг1 по значениям эквивалентных ширин эмиссионных линий почти не отличаются от результатов, полученных во время первого глубокого минимума [11]. Однако, в отличие от результатов [11], во время наших спектральных наблюдений широкие водородные абсорбции в глубоком минимуме не зарегистрированы. В табл.3, для сравнения приводятся значения эквивалентных ширин некоторых эмиссионных линий по [11] и по нашим измерениям. Как видно из данных таблицы, в основном эти значения совпадают. Некоторые различия в этих значениях, в том числе зарегистрированные изменения во время наших наблюдений, могут быть обусловлены наличием быстрых вспышкообразных изменений блеска во время глубокого минимума. В отличие от ранних наблюдений, мы не

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ НЕКОТОРЫХ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ ВО ВРЕМЯ ПЕРВОГО [11] И ВТОРОГО ГЛУБОКИХ МИНИМУМОВ. В СКОБКАХ ПРИВОДЯТСЯ НОМЕРА СПЕКТРОВ СОГЛАСНО ТАБЛ.2 (наст. работа)

Элемент	EW[11]	EW1-12 (BC288015)	EW2-12 (BC288016)	EW1-13 (BC289006)	EW2-13 (BC289007)
HeI $\lambda$ 7065	6	9.8	10.2	8.9	9.5
HeI $\lambda$ 6678	9	11.5	9.7	7.1	8.2
H $\alpha$	119	118.8	117.4	104.4	106.3
HeI $\lambda$ 5876	13	17.2	16.4	13.8	13.6
HeI $\lambda$ 5016	3	4.1	1.9	6.8	6.5
HeI $\lambda$ 4922	4	4.2	4.1	2.6	1.9
H $\beta$	39	39.2	36.9	34.7	29.3
H $\gamma$	19	15.2	14.4	11.2	11.5

зарегистрировали как широких абсорбционных линий бальмеровской серии водорода и HeI, так и эмиссионных линий высокоионизованных элементов, таких как NIII/CIII и HeII  $\lambda$ 4686Å, принадлежащих фотосфере белого карлика[11]. Следовательно, по крайней мере в некоторых фазах глубокого минимума, влияние излучения главной звезды системы - белого карлика, почти отсутствует, и возможно, что аккреция прекратилась полностью.

В глубоком минимуме мы получили 4 спектра, которые можно исследовать в диапазоне  $\lambda\lambda$ 4200 – 7200Å. Выше показано, что никаких следов горячего белого карлика на спектрах звезды не найдено: отсутствуют широкие абсорбции бальмеровской серии и HeI, а также эмиссионные линии NIII/CIII и HeII  $\lambda$ 4686Å. Следуя предположению, что вторичный компаньон системы является красным карликом спектрального класса M3.5 [8,9], мы попробовали найти на спектре следы TiO путем суммирования полученных 4 спектров. Следов TiO на спектрах не найдено, но после суммирования обнаружен очень слабый след полосы G на длине волны  $\lambda$ 4300Å. Известно, что эта полоса очень интенсивна у звезд спектральных классов G, и почти полностью исчезает у звезд спектральных классов K6-K7. Учитывая этот факт, а также относительные интенсивности эмиссионных линий бальмеровской серии водорода, можно предполагать, что по всей вероятности в данном случае имеем спектр звезды спектрального класса раннего K. Имея в виду также зарегистрированные в этой стадии звезды быстрые, неправильные изменения блеска, интенсивности эмиссионных линий и распределение энергии в спектре, можно предположить, что по наблюдаемым спектральным и фотометрическим характеристикам наблюдаемый источник, по-видимому, является переменной типа T Tau.

Таким образом, новоподобная звезда TT A $\mu$ 1 в настоящее время

зарегистрирована в своем втором глубоком минимуме. Эта фаза эволюции, изучение которой очень важно для понимания природы катаклизмических переменных подгруппы VY ScI. На основе исследований имеющихся спектральных и фотометрических наблюдений можно отметить следующее:

Во время глубокого минимума до неузнаваемости меняется распределение энергии в спектре звезды. Эмиссионные линии высокоионизованных элементов, таких как HeII  $\lambda 4686\text{\AA}$  и NIII/СIII, сильно слабеют или вовсе исчезают. Исчезают также широкие абсорбции бальмеровской серии водорода, образующиеся, как и эмиссионные линии HeII  $\lambda 4686\text{\AA}$  и NIII/СIII, в фотосфере главной звезды этой двойной системы. В итоге, в спектре отсутствуют следы белого карлика и аккреционного диска.

В этой фазе сильно увеличиваются интенсивности эмиссионных линий водорода и нейтрального гелия. Усиливаются эмиссии в линиях HeI  $\lambda 4922\text{\AA}$ , HeI  $\lambda 5016\text{\AA}$  и HeI  $\lambda 4471\text{\AA}$ . Появляются очень слабые эмиссии в HeI  $\lambda 4713\text{\AA}$  и в линиях ионизованного железа FeII  $\lambda 5261\text{\AA}$ , FeII  $\lambda 4922\text{\AA}$ , FeII  $\lambda 5018\text{\AA}$  и FeII  $\lambda 5169\text{\AA}$ . При суммировании 4-х спектров, полученных в глубоком минимуме, обнаружен очень слабый след полосы G на длине волны  $\lambda 4300\text{\AA}$ .

Полученные спектры в глубоком минимуме охватывают два вспышкообразных повышения по фотометрическим данным AAVSO [15] с амплитудами изменения блеска  $1^m.6$  и  $0^m.6$ . Такие изменения блеска, но малой амплитуды (несколько десятков звездных величин), зарегистрированы также в нормальном состоянии звезды [11]. В глубоком минимуме амплитуды этих изменений могут достигать до  $2^m$  и более [23,24 и настоящая работа]. Наиболее вероятно, что быстрые изменения блеска и в нормальном состоянии звезды и в глубоком минимуме обусловлены хромосферной активностью вторичной звезды системы - красного карлика. В фазе глубокого минимума, когда предполагаемый аккреционный диск по непонятным причинам разрушен и уже не является источником излучения, когда отсутствуют следы излучения главной звезды системы - белого карлика и светимость системы уменьшалась на два порядка, естественно предположить, что все наблюдаемые характеристики принадлежат вторичному компаньону - красному карлику. Тогда легко понять, каким образом амплитуды быстрых изменений блеска от нескольких десятков звездных величин в нормальном состоянии звезды ( $10^m - 11^m$ ) увеличиваются до  $2^m$  и больше во время глубокого минимума. Такие быстрые, неправильные изменения блеска очень характерны для таких красных карликов как вспыхивающие звезды типа UV Ceti и переменные типа T Tau. Так как наши спектры в глубоком минимуме в основном охватывают указанные выше быстрые изменения блеска (вспышки), то следует предположить, что зарегистрированные высокие значения эквивалентных ширин, хотя бы частично, являются результатом влияния вспышек.

Среднее значение отношения интенсивностей эмиссионных линий

бальмеровской серии водорода в нормальном состоянии звезды ( $m_V = 10^m - 11^m$ ) и в фазе глубокого минимума, как во время наших ранних спектральных наблюдений [13,14], так и при настоящих наблюдениях, свидетельствует о том, что образование этих линий в основном можно объяснить в рамках простой фотоионизационно-рекомбинационной модели. Интересно, что образование эмиссионных линий гелия не объясняется в рамках этой модели. Так, например, отношение интенсивностей  $\text{HeI } \lambda 5876\text{Å} / \text{HeI } \lambda 6678\text{Å} \sim 45$  объясняется как естественное последствие типичных спокойных атмосфер солнцеподобных звезд [29]. При низких температурах ( $T < 8000\text{ K}$ ) фотоны резонансных линий He I, заселяющие синглетные уровни, не могут проникать так далеко, как фотоны  $\lambda < 504\text{Å}$ , которые заселяют уровни триплета. По мере того как температура увеличивается, т.е., двигаясь внутрь активной звездной атмосферы, отношение интенсивностей эмиссионных линий  $\text{HeI } \lambda 5876\text{Å} / \text{HeI } \lambda 6678\text{Å}$  быстро уменьшается: как возбуждение основного уровня, так и соединение триплет-синглет уровней происходят в результате столкновений. Анализируя спектр известной вспыхивающей звезды AD Leo в спокойном состоянии, для отношения  $\text{HeI } \lambda 5876\text{Å} / \text{HeI } \lambda 6678\text{Å}$  получено значение  $\sim 3.7$ , очень близкое к результатам для активных протуберанцев на Солнце [30]. Авторы пришли к выводу, что образования этих эмиссионных линий, вероятно, происходят благодаря возбуждению основного уровня путем столкновений.

Наши предыдущие [14] и настоящие наблюдения показывают, что в нормальном состоянии звезды отношение  $\text{HeI } \lambda 5876\text{Å} / \text{HeI } \lambda 6678\text{Å} \leq 1$  значительно отличается от значений, полученных для типичных спокойных атмосфер солнцеподобных звезд [29]. В глубоком минимуме отношения интенсивностей этих линий находятся в пределах 1.5 - 2, т.е. приближаются к значению 3.0 или к отношению статистических весов триплет-синглет уровней и к значению, полученному для вспыхивающей звезды AD Leo [30].

<sup>1</sup> Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: nmelikia, akarapet@bao.sci.am

<sup>2</sup> Observatorio Astronomico Ramon Maria Aller, Universidad de Santiago de Compostela, Spain, e-mail: oatamaz, oadoco@usc.es

<sup>3</sup> American Association of Variable Star Observers, 49 Bay State Rd., Cambridge, MA 02138

SPECTRAL AND PHOTOMETRIC OBSERVATIONS  
OF TT ARI. IIIN.D.MELIKIAN<sup>1</sup>, V.S.TAMAZIAN<sup>2</sup>, J.A.DOCOBO<sup>2</sup>, A.A.KARAPETIAN<sup>1</sup>,  
G.R.KOSTANDIAN<sup>1</sup>, A.A.HENDEN<sup>3</sup>

In November 2009 the nova-like cataclysmic variable (CV) TT Ari has been detected in its second deep low state, the phase of evolution, investigation of which is very important in the study of VY Scl subgroup of CVs. In this phase a strong change of energy distribution is detected. Emission lines of highly excited elements, such as HeII  $\lambda 4686\text{\AA}$  и NIII/CIII, as well as broad Balmer absorption lines, which are formed in photosphere of WD or in inner layers of accretion disk, have disappeared. The mean values of Balmer emission lines ratio at normal brightness of the star and at low state could be explained in framework of photoionization-recombination model. At the same time ratios of triplet-singlet emission lines of neutral helium HeI  $\lambda 5876/\text{HeI } \lambda 6678$  at high and low states of star are too different. At low state we find a weak G band absorption feature at  $\lambda 4300\text{\AA}$  and flare like events, with the amplitudes up to  $2^{\text{m}}.0$  and more. The above-listed and some other observed characteristics allows to conclude that at low state the main detected radiation belongs to secondary companion of the binary system, which probably is a T Tau type star of early K spectral class.

Key words: *stars: spectra - individual: TT Ari*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *W.J.Luyten, H.S.Hughes*, Pub. Univ. Minnesota, No. 36, 1965.
2. *R.P.Kraft, W.J.Luyten*, *Astrophys. J.*, **142**, 1041, 1965.
3. *B.V.Kukarkin, P.P.Parenago*, *Var. Star Bull.*, **4**, 44, 1934.
4. *П.Н.Холопов, Н.Н.Самусь, В.Н.Горанский и др.*, *Общий каталог переменных звезд*, ред. П.Н.Холопов, М., Наука, 1987.
5. *S.Kafka*, in: *Binary Stars as Critical Tools & Tests in Contemporary Astrophysics*, *Proceedings of IAU Symposium No. 240*, eds. W.J.Hartkopf, E.F.Guinan, P.Harmanec, Cambridge University Press, Cambridge, p.154, 2007.
6. *B.Warner*, in: *"Cataclysmic Variable Stars"*, Cambridge University Press, 1995.
7. *A.P.Cowley, D.Crampton, J.B.Hutchings, J.M.Marlbrough*, *Astrophys. J.*, **195**, 413, 1975.
8. *B.T.Gansicke, E.M.Sion, K.Beuermann et al.*, *Astron. Astrophys.*, **347**, 178, 1999.
9. *C.Knigge*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **373**, 486, 2006.

10. *G.E.Sarty, K.Wu*, PASA (Publ. of the Astronomical Society of Australia), 23, 106, 2006.
11. *A.W.Shafter, P.Szkody, J.Liebert et al.*, *Astrophys. J.*, 290, 707, 1985.
12. *V.Stanishev, Z.Kraichewa, V.Genkov*, *Astron. Astrophys.*, 379, 185, 2001.
13. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, *Астрофизика*, 47, 543, 2004.
14. *Н.Д.Меликян, В.С.Тамазян, Х.А.Докобо и др.*, *Астрофизика*, 51, 445, 2008.
15. <http://mira.aavso.org/cgi-bin/>
16. *W.Gotz*, *IBVS*, 2823, 1985.
17. *N.D.Melikian, V.S.Tamazian, J.A.Docobo, A.A.Karapetian, G.Kostandyan*, in: "Double and Multiple Stars: Dynamics, Physics and Instrumentation", December 10-12, Spain, 2009 (in press).
18. *M.R.Templeton*, *AAVSO Alert Notice*, 408, 1, 2009.
19. *K.Mukai, J.Patterson, B.Koff et al.*, *ATel.*, 2254, 1, 2009.
20. *I.L.Andronov, A.V.Baklanov, A.Liakos, P.Niarchos*, *ATel.*, 2122, 9 July, 2009.
21. *Y.Kim, I.L.Andronov, S.M.Cha et al.*, *Astron. Astrophys.*, 496, 765, 2009.
22. *AAVSO Special Notice No179*, 2009.
23. *N.M.Shakhovskoy, I.Y.Alexeev, I.L.Andronov et al.*, *Ann. Israeli Phys. Soc.*, 10, 237, 1993.
24. *S.Kafka, J.W.Robertson, R.K.Honeycutt, S.B.Howell*, *Astron. J.*, 129, 2411, 2005.
25. *Xiaoran Wu, Zongyum Li, Yuerong Ding*, *Astrophys. J.*, 569, 418, 2002.
26. *S.Kafka, S.B.Howell, R.K.Honeycutt, J.W.Robertson*, *Astron. J.*, 133, 1645, 2007.
27. *E.Mason, S.B.Howell, T.Barman, P.Szkody, D.Wickramasinghe*, *Astron. Astrophys.*, 490, 279, 2008.
28. *E.Mason, D.Wickramasinghe, S.B.Howell, P.Szkody*, *Astron. Astrophys.*, 467, 277, 2007.
29. *J.Heasley, D.Mihalas, A.Poland*, *Astrophys. J.*, 192, 181, 1974.
30. *M.S.Giampapa, J.L.Linsky, T.J.Schneeberger, S.P.Worden*, *Astrophys. J.*, 226, 144, 1978.