АСТРОФИЗИКА

ТОМ 47 НОЯБРЬ, 2004 ВЫПУСК 4

УДК: 524.31.082

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НОВОПОДОБНОЙ ЗВЕЗДЫ TT ARI

Н.Д.МЕЛИКЯН, А.А.КАРАПЕТЯН

Поступила 17 марта 2004
Принята к печати 7 июля 2004

В настоящей работе приводятся результаты спектральных наблюдений новоподобной звезды TT Ari, выполненных в Бюраканской обсерватории в сентябре 2001г. Полученные результаты в большинстве случаев хорошо согласуются с уже известными наблюдательными данными. Зарегистрированы некоторые интересные отличия от уже известных результатов, среди которых следует особенно отметить отсутствие эмиссионной линии Hγ и наличие очень слабого поглощения в этой же линии. Другое интересное зарегистрированное отличие - это отсутствие анти - P Cygni профиля линии Hα и быстрые изменения P Cygni профиля в период наших наблюдений.

1. *Введение*. Звезда TT Ari принадлежит к широкому классу переменных типа U Gem (UG), часто называемых карликовыми новыми. Звезда показывает изменения блеска в пределах $10^m.2$-$14^m.5$ в *V* лучах [1]. По характеру эти звезды разделяются на три подтипа: SS Cyg, SU UMa и Z Cam. В ОКПЗ звезда TT Ari отнесена к подтипу Z Cam(UGZ)[1]. Звезды этого подтипа, как и все звезды, принадлежащие к типу U Gem, показывают циклические вспышки, но иногда, в отличие от переменных подтипа UGSU(SU UMa), не возвращаются к первоначальному блеску. Амплитуды изменения блеска во время вспышек достигают до 5 звездных величин в *V* лучах. У звезд типа UGSU, помимо нормальных максимумов, наблюдаются также сверхмаксимумы, встречающиеся втрое реже. Следует отметить, что во время сверхмаксимумов на кривую блеска накладываются квазипериодические колебания (superhumps) с периодом, близким к орбитальному, и с амплитудами порядка $0^m.2$ - $0^m.3$. Интересно, что такие квазипериодические колебания блеска наблюдались также и у звезды TT Ari.

Звезда TT Ari является одной из ярчайших новоподобных, катаклизмических звезд, изучение которой с точки зрения ее фотометрических и спектральных изменений остается очень интересным. Как и все звезды этого типа, она является, по крайней мере, двойной, со вторичным компонентом, являющимся белым карликом. Этим и объясняются зарегистрированные у звезды очень сложные кривые изменения блеска и изменения спектральных характеристик. Изменения звезды зарегистрированы в очень широком диапазоне - от нескольких секунд до нескольких лет [2]. Главный фотометрический период изменения блеска звезды TT Ari был определен

еще в шестидесятых годах - $P = 0^d.1329 = 3.2$ часа [3], что немного короче спектрального периода - $P_{orb} = 0^d.13755114 = 3.3$ часа [4]. В 1997г. главный фотометрический период изменения блеска был равным $P = 0^d.14926$ [5]. Авторы [3] нашли квазипериодические изменения блеска с длиной цикла 14-20 минут. Позже было показано, что с 1961г. по 1985г. продолжительность цикла уменьшилась соответственно от 27 до 17 минут [6]. Период, равный 29 минутам, для квазипериодических осцилляций у звезды TT Arl был определен недавно [7].

Спектроскопические наблюдения звезды также приводят к интересным результатам. Хорошо прослеживаются спектральные линии Hα, Hβ, Hγ, Hδ, Hε + Ca II, Hξ, HeII 4686 Å, He I (4471 Å, 4922 Å, 5016 Å), а также эмиссионные линии C II, C III и N III, с высокими потенциалами возбуждения, наличие которых характерно для звезд типов O и B. Все эмиссионные линии серии Бальмера узкие, с крыльями $V \approx 300$ км/с (ошибки измерения порядка 30 км/с), и, начиная с Hβ, накладываются на очень широкие поглощения, с крыльями, простирающимися до ±2000 км/с. В некоторых случаях смешиваются с линиями других элементов [8]. Предполагается, что такое поглощение происходит в оптически толстых слоях аккреционного диска и, по-видимому, получает дополнительное расширение под действием эффекта давления [8]. Одним из важных результатов, полученных при спектральных наблюдениях, является обнаружение корреляции интенсивностей линий водорода с излучением непрерывного спектра, что объясняется происхождением эмиссионных линий во внешних слоях атмосферы [7].

В настоящей работе приводятся результаты спектралъных наблюдений звезды TT Arl, выполненных в Бюраканской обсерватории.

2. *Наблюдения*. Спектральные наблюдения звезды TT Arl выполнены на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории в сентябре 2001г. Получены 30 спектров с помощью приемной аппаратуры ByuFOSC. При наблюдениях была использована CCD-камера, со светопринимающим элементом фирмы "Thomson" размерами 1060 x 1028 pix и зеленая гризма, охватывающая спектральную область λλ4250 – 6650 Å. Следует отметить, что нормальной обработке поддается спектральная область λλ4280 – 6600 Å. Светопринимающая система аппаратуры установлена в первичном фокусе телескопа. Спектры получены с пятиминутными экспозициями. Интервал времени между отдельными экспозициями составляет 1-2 минуты. Качество изображения во время наших наблюдений не превышает 2 угловых секунд. Общая продолжительность наблюдений составляет 3 часа, в течение которых получены 17 спектров звезды 24 сентября и 13 спектров 26-го, соответственно. При обработке спектров в качестве стандартной звезды была использована звезда Gl 191 B2B ($V = 11^m.8$ и $B - V = -0^m.32$).

О методике наблюдений и использованной аппаратуре более подробно описано в [9,10].

3. *Результаты наблюдений.* При спектральных исследованиях звезды TT Ari всегда уделялось особое внимание спектральным линиям Hα, Hβ, Hγ, NIII/CIII 4645 Å, HeI 6678 Å и HeII 4686 [7,8]. Линия HeI 6678 Å находится вне изучаемой нами спектральной области. Все остальные линии хорошо прослеживаются.

В табл.1 приводится список уверенно отождествленных спектральных линий. В соответствующих столбцах приводятся элемент спектральной линии, длина волны и потенциал возбуждения для образования данной линии. Эмиссионные линии в таблице отмечены звездочкой (*). Следует заметить, что некоторые спектральные линии отождествлены только после суммирования достаточно большого количества спектров. Как видно из данных таблицы, для образования почти всех линий требуется очень высокая степень возбуждения, следовательно, линия поглощения NaI, по всей вероятности, имеет или межзвездный характер, или же образуется в очень высоких, холодных слоях атмосферы звезды.

В табл.2 приводятся: амплитуда изменения блеска звезды (Δm) со среднеквадратическим отклонением, равным $0^m.17$, и результаты изме-

Таблица 1

СПИСОК ОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ ЛИНИЙ

Элемент	Длина волны (Å)	Потенциал возбуждения, (эВ)
Hγ	4340.47	13.05
NIII	4379.09	42.53
He I	4471.48	23.73
NIII*	4634.16	33.11
NIII*	4640.64	33.11
C III*	4647.42	32.18
C III*	4650.25	32.18
C III*	4651.47	32.18
HeII*	4685.38	51.0
HeII*	4685.71	51.0
HeII*	4685.92	51.0
Hβ	4861.33	12.74
Hβ*	4861.33	12.74
HeI*	4921.93	23.72
He I*	5015.68	23.08
He I*	5875.62	23.07
He I*	5875.97	23.07
Na I	5889.95	2.11
Na I	5895.92	2.10
N II	6284.32	23.57
Hα*	6562.85	12.09

Примечание: Звездочкой отмечены эмиссионные линии.

рения эквивалентных ширин эмиссионных линий Hα, Hβ, HeII 4686 и NIII/CIII 4645 Å, с соответственными среднеквадратическими отклонениями 0.54 Å, 0.30 Å, 0.13 Å и $0^m.08$ Å. Отметим, что оценка амплитуд изменения блеска выполнена посредством интегрирования непрерывного спектра звезды в вышеуказанном диапазоне длин волн. Как хорошо видно из данных табл.1, во всех случаях, кроме NIII/CIII 4645 Å, зарегистрированы изменения, превышающие значения 3σ. Значение эквивалентной ширины NIII/CIII 4645 Å за весь наблюдательный период остается практически постоянным.

На рис.1 приводятся два из полученных спектров звезды TT Arî. Разность во времени получения этих двух спектров составляет около 30 минут. Отметим, что разность в амплитудах интегрального блеска по

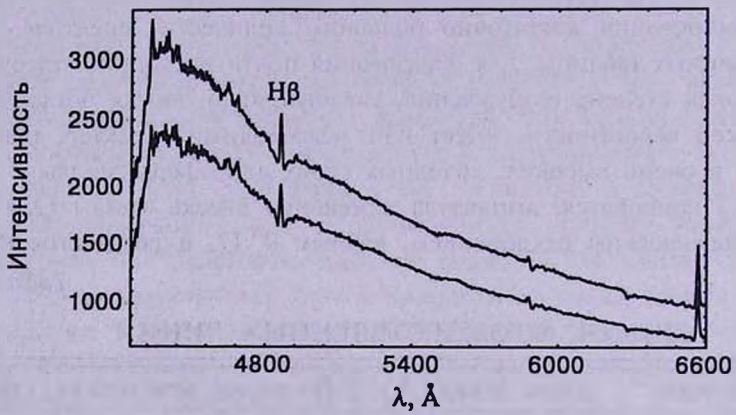

Рис.1. Два спектра звезды TT Arî. На спектрах выделяются эмиссионные линии Hα, Hβ, серия линий NIII/CIII, HeII 4686 Å и HeI 5876 Å. Как видно на рисунке, эмиссия в линии Hγ отсутствует, а поглощение на этой длине волны узкое и слабое. Следует отметить, что при ранее полученных наблюдениях [7,8] эмиссия и поглощение в Hγ имеют такой же вид, что и Hβ на рисунке.

этим двум спектрам, полученным практически в одинаковых условиях, составляет $0^m.3$. На спектре хорошо видно, что узкая эмиссионная линия Hβ накладывается на широкое поглощение. Крылья линии поглощения Hβ простираются до величины, равной ±2400 км/с. Такая же картина со слабыми изменениями повторяется на всех полученных спектрах. На спектрах наблюдаются также слабые изменения глубины абсорбции с обеих сторон эмиссии. Интересно отметить, что следы эмиссионной линии Hγ ни на одном из полученных спектров не замечаются, тогда как подробные спектральные исследования ранее показали почти одинаковые эквивалентные ширины эмиссии в Hβ и Hγ [8]. Во время наших наблюдений зарегистрировано только слабое поглощение в линии Hγ, что также противоречит ранее полученным результатам [7,8].

Детальный осмотр полученных спектров позволил обнаружить слабые

колебания поглощения в коротковолновой части эмиссионной линии Hα. Изменение интенсивности этого слабого абсорбционного компонента происходит иногда в течение 10-15 минут. На 22 спектрах из 30 был виден слабый абсорбционный компонент с коротковолновой стороны эмиссионной линии Hα. Суммирование данных всех 22 спектров позволило обнаружить 2 отдельных компонента поглощения, с соответствующими скоростями -550 км/с и -1900 км/с (см. рис.2). Следы второго компонента (V= -1900 км/с) на отдельных спектрах почти не замечаются, и только суммирование

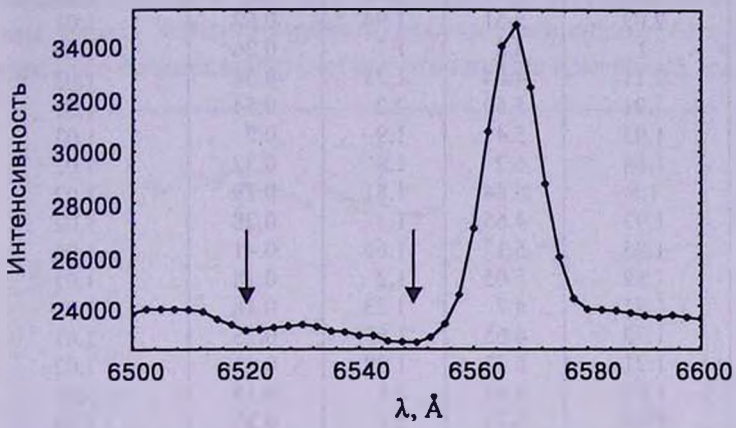

Рис.2. Линия Hα, полученная в результате суммирования 22 спектров звезды TT Ari. Стрелками отмечены отдельные компоненты линии поглощения, указывающие на отдельные выбросы вещества. Следует отметить, что как на рис.2, так и на отдельных спектрах не замечаются следы анти-P Cygni профиля линии Hα.

всех 22 спектров позволяет уверенно зафиксировать этот компонент. Следует отметить, что ни на одном спектре не видны следы абсорбции с красной стороны эмиссионной линии Hα, как было отмечено Станишевым и др.

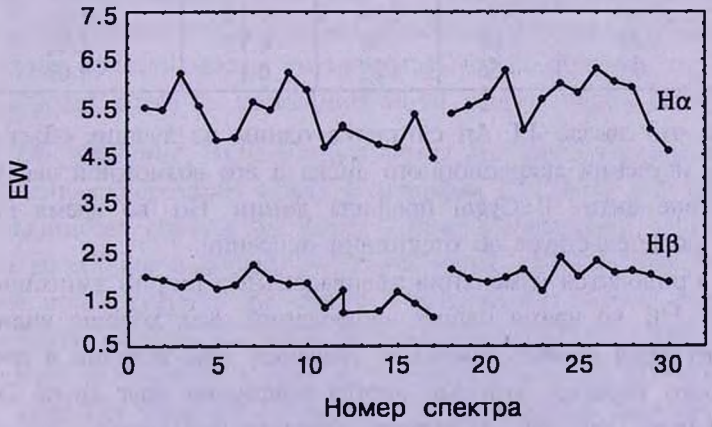

Рис.3. На рисунке показаны изменения эквивалентных ширин линий Hα и Hβ. По оси абсцисс отложены номера полученных спектров (см. табл.2), а по оси ординат - значения эквивалентных ширин этих линий.

Таблица 2

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ ЗВЕЗДЫ TT Arl

JD2452+	Амплитуда (Δm)	*EW* Hα (Å)	*EW* Hβ (Å)	*EW* 4686 (Å)	*EW* NIII/CIII4645 (Å)
177.0131	1.99	5.48	1.95	0.31	1.02
177.0181	1.91	5.43	1.87	0.35	1.02
177.0229	2.08	6.19	1.75	0.2	1.02
177.0271	2.02	5.51	1.94	0.62	1.01
177.0312	2	4.8	1.7	0.26	1.02
177.0354	2.11	4.84	1.78	0.51	1.02
177.0396	1.91	5.59	2.2	0.54	1.01
177.0438	1.93	5.42	1.9	0.2	1.02
177.0479	1.84	6.2	1.8	0.32	1.02
177.0521	1.8	5.84	1.81	0.29	1.02
177.0562	1.93	4.65	1.3	0.28	1.02
177.0604	1.85	5.1	1.66	0.41	1.03
177.0646	1.82	5.05	1.2	0.18	1.02
177.0688	1.81	4.7	1.23	0.18	1.01
177.0729	1.73	4.63	1.63	0.25	1.01
177.0771	1.71	5.33	1.38	0.41	1.02
177.0819	1.75	4.41	1.1	0.15	1.01
179.9542	1.49	5.35	2.1	0.32	1.03
179.9563	1.63	5.51	1.9	0.1	1.01
179.9625	1.48	5.69	1.83	0.39	1.01
179.9666	1.34	6.25	1.93	0.5	1.02
179.9715	1.35	5	2.1	0.4	1.03
179.9757	1.46	5.65	1.64	0.27	1.02
179.9798	1.49	5.97	2.34	0.25	1.02
179.984	1.16	5.78	1.94	0.1	1.02
179.9882	0.66	6.29	2.27	0.23	1.01
179.9923	0.96	6.01	2.03	0.23	1.02
179.9965	0.66	5.9	2.06	0.15	1.01
180	0.02	5.01	1.97	0.13	1.03
180.0049	0	4.56	1.82	0.1	1.02

[8]. Отметим, что звезда TT Arl считается одним из лучших объектов с точки зрения изучения аккреционного диска и его возможной эволюции [7,8]. Отсутствие анти- P Cygni профиля линии Hα во время наших наблюдений свидетельствует об отсутствии аккреции.

На рис.3 приводятся изменения эквивалентных ширин эмиссионных линий Hα и Hβ во время наших наблюдений. Как хорошо видно из рисунка, существуют слабые колебания значений этих величин в течение наблюдательного периода, которые иногда повторяют друг друга. Это и следовало ожидать, так как существует определенная корреляция между величинами *EW* Hα и *EW* Hβ. Отметим, что коэффициенты корреляции между величинами *EW* Hα - *EW* HeII 4686 и *EW* Hβ - EWHeII 4686

соответственно равны 0.017 и 0.031. Наши наблюдения недостаточны для исследования периодических изменений эквивалентных ширин линий Hα и Hβ, но, тем не менее, полученные данные дают основание подозревать, что, по-видимому, значения эквивалентных ширин показывают квазипериодические изменения с периодом порядка 30 минут. Отметим, что подробный анализ фотометрических наблюдений звезды позволил обнаружить нерегулярные и квазипериодические колебания блеска с периодами 14-20 минут [3], 27 минут [6], 29 минут [7] и 23.7 минуты [11].

На рис.4 показано изменение интегрального блеска звезды согласно данным табл.1. Зарегистрировано реальное изменение блеска. Следует отметить, что среднеквадратическое отклонение измерений интегрального

Рис.4. Изменения интегрального блеска звезды, оцененного по полученным спектрам в период наших наблюдений. По оси абсцисс отложены номера полученных спектров, а по оси ординат - амплитуды изменения блеска в звездных величинах.

блеска равно $0^m.17$, тогда как зарегистрировано изменение интегрального блеска, превышающее величину 2^m. На фоне уменьшения яркости звезды замечаются также слабые колебания блеска. Приблизительно за трое суток яркость звезды уменьшилась на 2^m. Причем, на $1^m.5$ яркость звезды упала всего за последние 30-40 минут наших наблюдений.

4. *Обсуждение*. Эмиссионная линия Hα очень сильная, и существует определенная корреляция между величинами *EW* Hα и *EW* Hβ (см. рис.5). В большинстве случаев во время наших наблюдений зарегистрирована слабая абсорбция с коротковолновой части эмиссионной линии. Выявленные при обработке 22 спектров широкие и слабые абсорбционные компоненты указаны на рис.2. Второй компонент (V=-1900 км/с) можно было отчетливо выявить только на суммарном спектре. Эти два компонента из-за широких крыльев сливаются, и мы смогли уверенно вычислить только их суммарную эквивалентную ширину ($EW\ H\alpha_{(1+2)} = 0.41$Å). Ширина компонентов почти одинакова и оценивается приблизительно

±450 - 500 км/с. Образование в спектрах звезд P Cyg профиля объясняется истечением вещества и, следовательно, существование двух абсорбционных компонентов, вероятно, можно объяснить выбросами материи отдельными

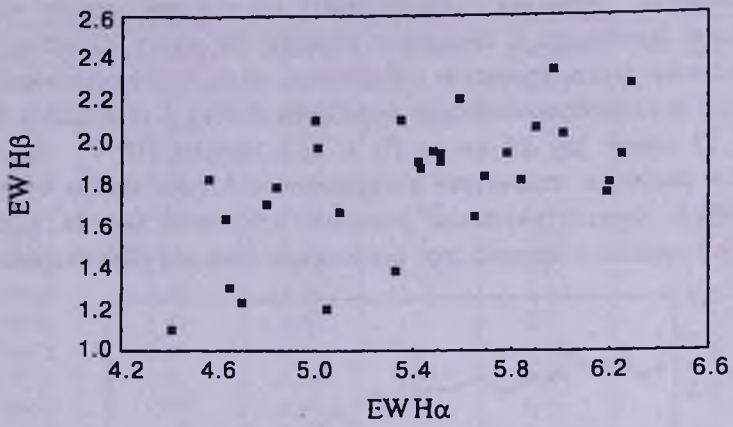

Рис.5. Корреляция между эквивалентными ширинами линий Hα и Hβ.

порциями. Интересно, что интенсивность абсорбции со временем изменяется, иногда в течение 5-7 минут. Значения эквивалентной ширины эмиссионной линии Hα изменяются в пределах 4.5-6.3 Å вокруг среднего значения 5.4 Å, что хорошо согласуется с результатами, полученными ранее [8].

Среднее значение эквивалентной ширины эмиссионной линии Hβ (EW Hβ = 1.8Å) также хорошо согласуется с ранее полученными значениями [8]. Значения эквивалентной ширины линии показывают реальные изменения в период наших наблюдений в пределах 1.1-2.3 Å ($\sigma = 0.3$Å).

В табл.3 для сравнения приводятся средние значения эквивалентных ширин некоторых эмиссионных линий. Как видно из данных таблицы, средние значения эмиссионных линий, измеренных в разные эпохи, не сильно отличаются друг от друга.

Таблица 3

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В РАЗНЫЕ ЭПОХИ

Спектральная линия	Среднее значение EW (Å)	Среднее значение EW (Å)	Среднее значение EW (Å)
	08-09. 2000 [8]	11.2000-01.2001 [8]	09.2001 наст. работа
Hα	5.46	5.90	5.4
Hβ	2.05	1.85	1.8
Hγ	1.51		0
He 4686		0.52	0.29
NIII/CIII4645		0.83	1.02

Ранее полученные наблюдения показывают, что эмиссионная линия Hγ, а также все линии Бальмеровской серии, начиная с Hβ, узкие и накладываются на широкие абсорбции, крылья которых часто простираются до величины ±2000 км/с [7,8]. Среднее значение эквивалентной ширины эмиссионной линии *EW* Hγ = 0.51Å [7,8]. Результаты наших спектральных наблюдений, в основном, хорошо согласуются с ранее полученными. Отличие заключается в том, что на полученных нами спектрах эмиссия в Hγ отсутствует, а поглощение на всех спектрах слабое и узкое и его можно увидеть только после детальной обработки спектров. Эквивалентные ширины этой линии поглощения на одном полученном спектре трудно определить, так как их значения сравнимы с ошибками измерения. На суммарном спектре (см. рис.6) линия поглощения Hγ четко выделяется. Как видно на рисунке, правое крыло линии поглощения Hγ сильно деформировано или непрерывным поглощением, или же поглощением

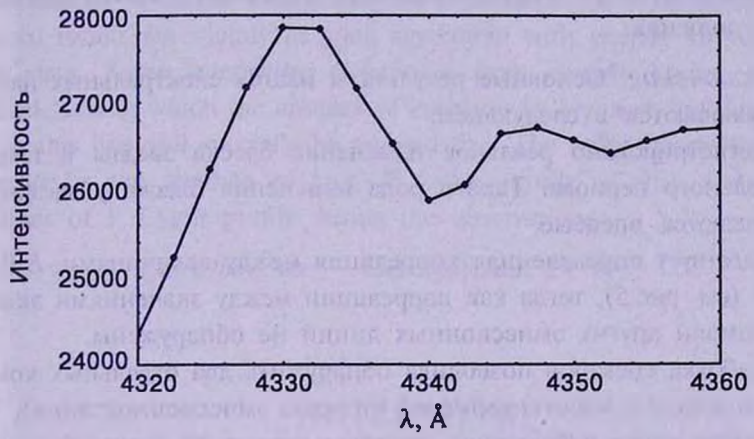

Рис.6. Линия поглощения Hγ, полученная на основе суммирования 10 спектров звезды TT Ari.

отдельных элементов. Согласно ранее полученным данным, значения эквивалентных ширин линий поглощения Hβ и Hγ одинаковы и равны 2.75 Å [8]. Зарегистрированные значения эквивалентных ширин эмиссионных линий Hβ и Hγ также близки [7,8]. Отсутствие во время наших наблюдений эмиссионной линии Hγ и наличие очень слабой абсорбции в этой же линии трудно объяснить. По всей вероятности, в течение времени происходят сильные изменения физических условий в атмосфере звезды, что и приводит к наблюдаемому явлению.

Отметим, что суммирование спектров позволяет обнаружить достаточно слабые линии гелия в поглощении (He I 4471 Å) и в эмиссии (He I 4922 Å и He I 5016 Å). Эмиссия в линиях He II 4686 Å и He I 5876 Å достаточно сильная и поддается измерению на каждом отдельном спектре звезды. В

спектрах звезд типа О линия He II 4686 Å часто достаточно яркая и, как правило, сопровождается яркими линиями N III 4634 Å и N III 4640 Å с потенциалом возбуждения 33.11 эВ. Как во время наших наблюдений, так и в ранее полученных спектрах [7,8], линии N III появляются совместно с триплетом C III (см. табл.1) у длины волны λ4650Å. Известно, что триплет C III в излучении появляется в спектрах газовых туманностей, в спектрах звезд Вольфа-Райе и в спектрах некоторых аномальных объектов. Появление триплета C III в спектрах звезд свидетельствует о чрезвычайно высоком возбуждении в атмосфере. На суммарном спектре звезды TT Arl зарегистрировано также слабое поглощение в линии N III 4379.09 Å, с потенциалом возбуждения 42.53 эВ. Наличие этой линии характерно для спектров горячих звезд типов О и В и достигает наибольшей интенсивности у звезд O9.

Интересны также зарегистрированные быстрые изменения блеска звезды, эквивалентных ширин эмиссионных линий и интенсивностей линий поглощения.

5. *Заключение.* Основные результаты наших спектральных наблюдений заключаются в следующем:

а. Зарегистрировано реальное изменение блеска звезды в течение наблюдательного периода. Такого рода изменения блеска у звезды TT Arl наблюдаются впервые.

б. Существует определенная корреляция между величинами *EW* Hα и *EW* Hβ (см. рис.5), тогда как корреляции между значениями эквивалентных ширин других эмиссионных линий не обнаружены.

в. Обработка спектров позволила обнаружить два отдельных компонента поглощения с коротковолновой стороны эмиссионной линии Hα. Одновременно наши наблюдения свидетельствуют об отсутствии анти-P Cygni профиля.

г. Ранние спектральные наблюдения показывают почти одинаковые интенсивности эмиссии и поглощения в линиях Hβ и Hγ [7,8]. Отсутствие эмиссионной линии Hγ и наличие слабого и узкого поглощения в этой линии во время наших наблюдений свидетельствуют о сильных изменениях физических условий в атмосфере звезды.

Несмотря на многосторонние и интенсивные исследования звезды TT Arl, особенно за последние годы, многие из полученных результатов остаются непонятными. По-видимому, необходимо вместе со спектральными наблюдениями проводить одновременно и многоцветную фотометрию с высоким временным разрешением, а также поляриметрические наблюдения синхронно с фотометрическими. С точки зрения разности результатов в появлении и исчезновении анти-P Cygni профиля в наших и других наблюдениях [7,8], считаем весьма важным проведение в дальнейшем

спектральных наблюдений с очень высоким спектральным и временным разрешением.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: nmelikia@bao.sci.am

SPECTRAL OBSERVATIONS OF NOVALIKE STAR TT ARI

N.D.MELIKIAN, A.A.KARAPETIAN

In this paper the results of spectral observations of novalike star TT Ari, carried out in Byurakan Observatory in September 2001, are presented. The obtained results are mainly in good agreement with already known observational data. Some interesting differences from already known results are detected, among which the absence of emission in Hγ and very faint absorption in this line will specially be pointed out. The other interesting detected difference is the absence of anti - P Cygni profile of Hα and the rapid variations of P Cygni profile during the observations.

Key words: *(stars:)novalike - stars: individual: TT Ari*

ЛИТЕРАТУРА

1. *П.Н.Холопов, Н.Н.Самусь, В.П.Горанский и др.*, Общий каталог переменных звезд, ред. П.Н.Холопов, Наука, М., 1987.
2. *I.L.Andronov, K.Arai, L.L.Chinarova et al.*, Astron. J., **117**, 574, 1999.
3. *J.Smak, K.Stepien*, in: "Non-periodic Phenomena in Variable Stars", ed. L.Detre, Academy Press, Budapest, 1969, p.35.
4. *J.R.Thorstensen, J.Smak, F.V.Hessman*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **97**, 437, 1985.
5. *D.R.Skillman, D.Harvey, J.Patterson et al.*, Astrophys. J., **503**, L67, 1998.
6. *L.Semeniuk, A.Schwarzenberg-Czerny et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **130**, 167, 1987.
7. *Xiaoan Wu, Zongyum Li, Yuerong Ding*, Astrophys. J., **569**, 418, 2002.
8. *V.Stanishev, Z.Kraichewa, V.Genkov*, Astron. Astrophys., **379**, 185, 2001.
9. *T.A.Movsessian, J.-L.Gach, F.Zhamkochian, J.Boulesteix*, "JENAM-2000" May 29-June 3, Abstracts, Moscow, 2000, p.179.
10. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, Астрофизика, **44**, 265, 2001.
11. *J.Tremko, I.L.Andronov et. al.*, Astron. Astrophys., **312**, 121, 1996.