

УДК 524.338

Поведение Ультрафиолетового Спектра TV Col во Время и После Вспышечной Активности

© 2018 М. Р. Санад^{1**}, М. А. Абдель-Сабур^{1,2}¹Национальный Исследовательский Институт Астрономии и Геофизики, Хелуан, Каир, Египет²Университет короля Сауда, Эр-Рияд, Саудовская Аравия 11451

Поступила в редакцию 27 июля 2017 года; принята в печать 9 октября 2017 года

Мы исследовали промежуточный поляр TV Col во время и после его ноябрьской вспышки 1982 года, наблюдаемой в ультрафиолете с помощью космического телескопа International Ultraviolet Explorer. Представлены два спектра, свидетельствующие о вариации эмиссионных линий на разных временах. Мы оценили новое значение покраснения абсорбции на 2200 \AA $E(B - V) = 0.12 \pm 0.02$ и вычислили потоки в эмиссионных линиях C IV и He II, которые возникают во внешнем аккреционном диске. Средняя ультрафиолетовая светимость излучающей области во время и после вспышки составляет примерно $4 \times 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$ и $9 \times 10^{30} \text{ эрг с}^{-1}$, а соответствующее среднее значение темпа аккреции вещества приблизительно равно $3 \times 10^{15} \text{ эрг с}^{-1}$ ($4.76 \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$) и $5 \times 10^{13} \text{ эрг с}^{-1}$ ($7.93 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$), а оценка средней температуры излучающей области во время и после вспышки составляет около $3.5 \times 10^3 \text{ К}$ и $2 \times 10^3 \text{ К}$. Мы полагаем, что вспышка вызвана резким увеличением темпа аккреции вещества, что привело к вспышечной активности.

Ключевые слова: *звезды: индивидуальные: TV Col*

1. ВВЕДЕНИЕ

Катаклизмические переменные (КП) являются тесными взаимодействующими двойными системами, состоящими из холодной вторичной звезды, передающей вещество своему плотному, более горячему, вырожденному главному компоненту – белому карлику (БК). Передача вещества приводит к широкому диапазону наблюдаемой спектральной переменности, которая включает в себя катаклизмические события известные как вспышки, приводящие к увеличению яркости объектов на 2^m – 10^m . Ультрафиолетовый участок спектра важен, так как катаклизмические переменные излучают в основном в этом диапазоне длин волн. Ультрафиолетовая полоса также содержит много эмиссионных линий высокого и низкого возбуждения многих химических элементов, по которым можно отслеживать состояние плазмы внутри систем. Обзор ультрафиолетовых свойств КП можно посмотреть в работах [1–5].

В большинстве КП белый карлик аккрецирует вещество звезды главной последовательности, в виде аккреционного диска. Промежуточные поляры (ПП) – это тип КП, где аккреционный диск

нарушен магнитным полем главной звезды (белого карлика). Падающее вещество формирует диск в областях, далеких от БК, но при приближении аккреционного потока к главной звезде оно следует магнитным силовым линиям. Лэмб и Пэттерсон [6] нашли, что у ПП поверхность диска находится очень близко от белого карлика; они также понижают силу магнитного поля до очень низких значений.

TV Col был обнаружен как жесткий рентгеновский объект 2A 0526–328 с помощью спутника ARIEL V [7–10]. Рентгеновский источник был идентифицирован в оптическом диапазоне как первая катаклизмическая переменная, обнаруженная по своему рентгеновскому излучению. TV Col классифицирован как промежуточный поляр состоящий из магнитного белого карлика, аккрецирующего вещество карликовой звезды позднего типа.

Мотч [11] обнаружил, что оптическая яркость TV Col меняется с периодами 5.2 часа и 4 дня. Лучевые скорости определенные по эмиссионным линиям показывают вариацию в 5.5 часа [12]. Боннет-Бидод и др. [13] переанализировали данные Мотча [11] и нашли, что оптическая яркость модулируется 5.5-часовым спектроскопическим периодом, который доминирует в синей и ультрафиолетовой областях и предположительно является орбитальным. Четырехдневный период является периодом

*The text was submitted by the authors in English.

**E-mail:

биений между 5.2-часовым периодом и спектрально-скопическим орбитальным.

Хеллиер и др. [14] обнаружили наличие повторяющегося затмения с периодом 5.5 часа в качестве подтверждения орбитального периода. Они открыли, что затмение – результат частичного покрытия аккреционного диска вторичной звездой, тогда как главная звезда не затмевается. Шрайвер и др. [15, 16] обнаружили 32-минутный рентгеновский период. Этот период был идентифицирован с вращательным периодом главной звезды, магнитного белого карлика, что классифицирует TV Col как промежуточный поляр.

TV Col имеет короткие вспышки с амплитудой в 4^m подобные карликовым новым, наблюдаемые в оптике и ультрафиолете космическим телескопом International Ultraviolet Explorer (IUE) [17–21]. Ультрафиолетовые наблюдения с помощью IUE показали, что TV Col излучает, в основном, в ультрафиолете, и имеет спектр, типичный для аккреционного диска и ультрафиолетовую переменность, ассоциированную с 5.5-часовым орбитальным периодом. Ультрафиолетовый спектр TV Col показывает сильно ионизованные резонансные линии с небольшим намеком на профиль типа P-Cygni у эмиссионной линии CIV. Непрерывный спектр согласуется со стабильным излучением оптически толстого диска на длинах волн менее 2100 \AA и горячего пятна с температурой 9000 K в оптическом диапазоне [13, 22]. Сзкоди и Матео [19] обнаружили вспышку в 2^m в ультрафиолетовых и оптических наблюдениях. Они предположили, что такое поведение связано с нестабильностью аккреционного диска.

Здесь самая важная наблюдательная особенность состоит в том, что ультрафиолетовые эмиссионные линии появляются во внешнем аккреционном диске, подогреваемом горячим компонентом и горячей внутренней областью диска в результате резкого возрастания темпа аккреции вещества. Спектр TV Col значительно варьируется после вспышечной активности в результате резкого возрастания темпа аккреции, что приводит к вспышкам и последующим вариациям плотности и температуры внешнего диска.

В данной работе, мы представляем данные наблюдений TV Col, полученные телескопом IUE. В разделе 2 описываются ультрафиолетовые наблюдения методы анализа данных. Метод определения покраснения описан в разделе 3. Результаты исследования и интерпретации внезапной вспышечной активности TV Col в течение нескольких часов в ноябре 1982 года представлены в разделе 4. Наконец, в разделе 5 приводится заключение.

2. СПЕКТРЫ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

2.1. Ультрафиолетовые спектры TV Col

Ультрафиолетовые спектры были получены из архивов INES (IUE Newly Extracted Spectra) <http://ines.vilspa.esa.es>. Мы изучили ультрафиолетовые спектры низкого разрешения, 6 \AA , в узком интервале длин волн ($1150\text{--}1950 \text{ \AA}$). Все ультрафиолетовые наблюдения выполнялись с помощью коротковолновой камерой с низкой дисперсией. Детальную информацию по данным низкого разрешения INES можно посмотреть в работах Родригеза-Паскаля и др. [23] и Гонзалеса и др. [24]. Данные были проанализированы с помощью программы MIDAS для обработки и анализа спектра. Для определения потоков в эмиссионных линиях, мы пользовались командой `integrate/line` в пакете MIDAS для определения уровня континуума и интегрирования потока спектральной линии выше континуума. Была использована эфемерида Хеллиера [18]:

$$\text{HJD} = 2448267.4895 + 0.22860034 \times E.$$

В таблице 1 перечислены наблюдательные данные для TV Col с низким разрешением и большой апертурой. Спектры изучались в области $1150\text{--}1950 \text{ \AA}$ для выбора подходящих данных для нашего исследования. Мы представляем ультрафиолетовые наблюдения IUE TV Col, покрывающие большинство орбитальных фаз. На Рисунках 1 и 2 показаны вариации потоков в линиях на разных временах. Эти эмиссионные линии образуются во внешнем аккреционном диске.

3. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКРАСНЕНИЯ

Наш метод определения покраснения TV Col зависит от абсорбции на 2200 \AA . Мы оценили покраснение с помощью наилучшего набора коротковолновых и длинноволновых спектров. Для оценки покраснения были выбраны следующие подходящие наблюдения: SWP18626–LWR09626, SWP18645–LWR14685, SWP18646–LWR14709, которые дают наилучший сглаживающий спектр, подходящий для нашей оценки значения покраснения. Мы сгруппировали измерения потоков в бины по 15 \AA для SWP и 25 \AA для LWR. Подходящее значение для $E(B - V)$ находится путем визуального определения графиков с наилучшей аппроксимацией для абсорбции на 2200 \AA . Отклонение штриховой линии ниже или выше абсорбции на 2200 \AA представляет неприемлемое значение покраснения $E(B - V)$; мы выбираем наилучший фит по этой абсорбции. Наилучшее значение $E(B - V)$ для TV Col составляет 0.12 ± 0.02 , как показано на Рисунке 3. Используя деталь на

Таблица 1. Ультрафиолетовые наблюдения TV Col с помощью IUE

Идентификатор изображения	Дисперсия	Апертура	JD	Время экспозиции, сек	Состояние вспышки	Фаза
SWP18623	Низкая	Большая	2445295.7986	2399.71	во время вспышки	0.50
SWP18624	Низкая	Большая	2445295.8513	599.524	во время вспышки	0.27
SWP18625	Низкая	Большая	2445295.8953	1199.58	во время вспышки	0.08
SWP18626	Низкая	Большая	2445295.9377	899.761	во время вспышки	0.89
SWP18627	Низкая	Большая	2445295.9841	971.311	во время вспышки	0.69
SWP18631	Низкая	Большая	2445296.7176	1799.65	после вспышки	0.48
SWP18632	Низкая	Большая	2445296.7652	1799.65	после вспышки	0.27
SWP18633	Низкая	Большая	2445296.8099	1799.65	после вспышки	0.08
SWP18634	Низкая	Большая	2445296.8542	1799.65	после вспышки	0.88
SWP18635	Низкая	Большая	2445296.8982	1799.65	после вспышки	0.69
SWP18643	Низкая	Большая	2445297.7086	2399.71	после вспышки	0.14
SWP18644	Низкая	Большая	2445297.7652	2399.71	после вспышки	0.90
SWP18645	Низкая	Большая	2445297.8197	2399.71	после вспышки	0.66
SWP18646	Низкая	Большая	2445297.8745	2399.71	после вспышки	0.42
SWP18647	Низкая	Большая	2445297.9295	2399.71	после вспышки	0.18
SWP18648	Низкая	Большая	2445297.9824	2099.48	после вспышки	0.95

2200 Å Матео и др. [25] определили покраснение для TV Col как $E(B - V) = 0.05$, а оценка Мучета и др. [22] составляет $E(B - V) \leq 0.04$. Разница между нашим значением покраснения и значений Матео и др. [25] и Мучета и др. [22] можно отнести к наилучшему выбору набора спектроскопических наблюдений.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. Спектральное поведение эмиссионных линий во время и после вспышечной активности

Эмиссии C IV и He II на 1550 Å и 1640 Å являются резонансной линией и рекомбинационной линией, в дополнение к эмиссии NV на 1240 Å и эмиссии Si IV на 1400 Å которые обсуждались Мучетом и др. [22] и Сзкоди и Матео [19]. На рисунках 4 и 5 показано поведение спектра в потоках эмиссионных линий C IV и He II в зависимости от орбитальной фазы. Потоки в эмиссионной линии C IV во время вспышечной активности больше потоков линии после вспышки на 1-3 величины, тогда как потоки в эмиссии He II во время вспышки больше потоков линии после вспышки на 1-2 величины, как показано на рисунках 4 и 5. В таблице 2 приведены оценки потоков в эмиссионных линиях

C IV и He II. Ошибки измерений потоков в линиях находятся в пределах 1, что было определено путем процедур описанных Ленцом и Эйресом [26].

Пользуясь интегральными потоками C IV 1550 Å и He II 1640 Å и средним значением расстояния 368 парсек, полученным по интерферометрическим наблюдениям точного датчика гидрирования космического телескопа Хаббл МакАртуром и др. [27], мы нашли из следующей формулы:

$$L_{UV} = 2\pi F d^2 \quad (1)$$

что средняя ультрафиолетовая светимость во время вспышечной активности составляет примерно 4×10^{32} эрг с⁻¹, а после вспышечной активности - примерно 9×10^{30} эрг с⁻¹.

Ультрафиолетовые светимости TV Col во время и после вспышки больше чем УФ светимости промежуточных поляров PQ Gem и V 405 Aur [28], в то время как они сравнимы с теми, что найдены для промежуточных поляров AO Psc и V 1223 Sgr [29] в из вспышечных и спокойных состояниях.

Для белого карлика с массой $M \sim 0.96M_{\odot}$, значение радиуса, 5.78×10^8 см, вычисляется по

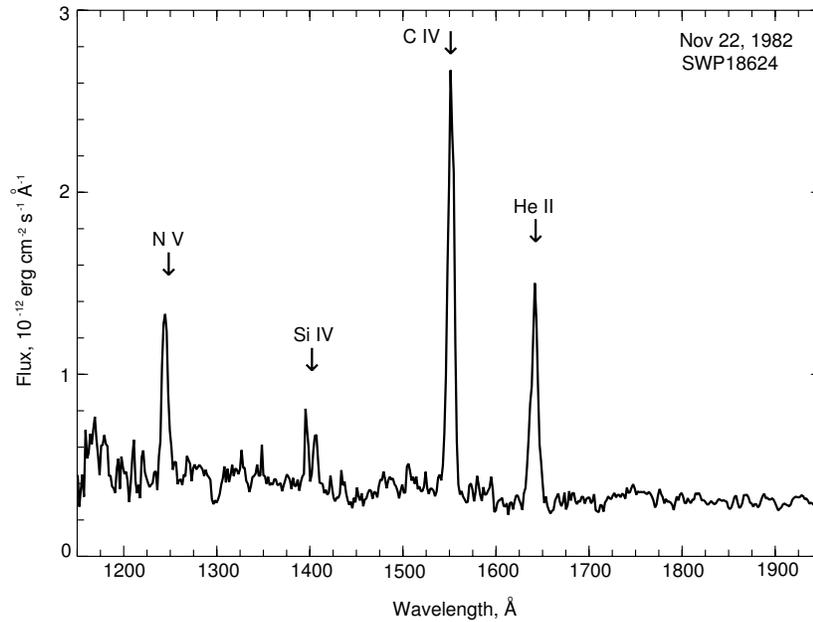


Рис. 1. Спектр IUE TV Col во время вспышки в фазе 0.27.

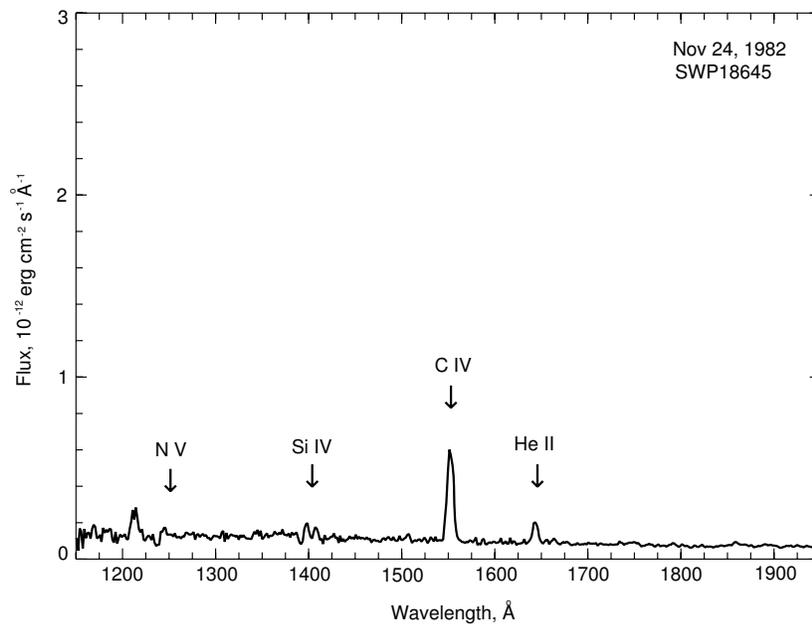


Рис. 2. Спектр IUE TV Col после вспышки в фазе 0.66.

формуле:

$$R_{\text{WD}} = 0.78 \times 10^9 \sqrt{\left(\frac{1.44 M_{\odot}}{M_{\text{WD}}}\right)^{2/3} - \left(\frac{M_{\text{WD}}}{1.44 M_{\odot}}\right)^{2/3}}. \quad (2)$$

Темпы аккреции вещества определяются из уравнения

$$\dot{M} = L_{\text{acc}} R_a / G M_a, \quad (3)$$

где M_a и R_a - масса и радиус аккрецирующей звезды, L_{acc} - аккреционная светимость, а G - гравитационная постоянная.

Мы нашли, что средний темп аккреции вещества составляет приблизительно 3×10^{15} эрг с^{-1} ($4.76 \times 10^{-11} M_{\odot} \text{год}^{-1}$) во время вспышечной активности и около 5×10^{13} эрг с^{-1} ($7.93 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{год}^{-1}$) после нее.

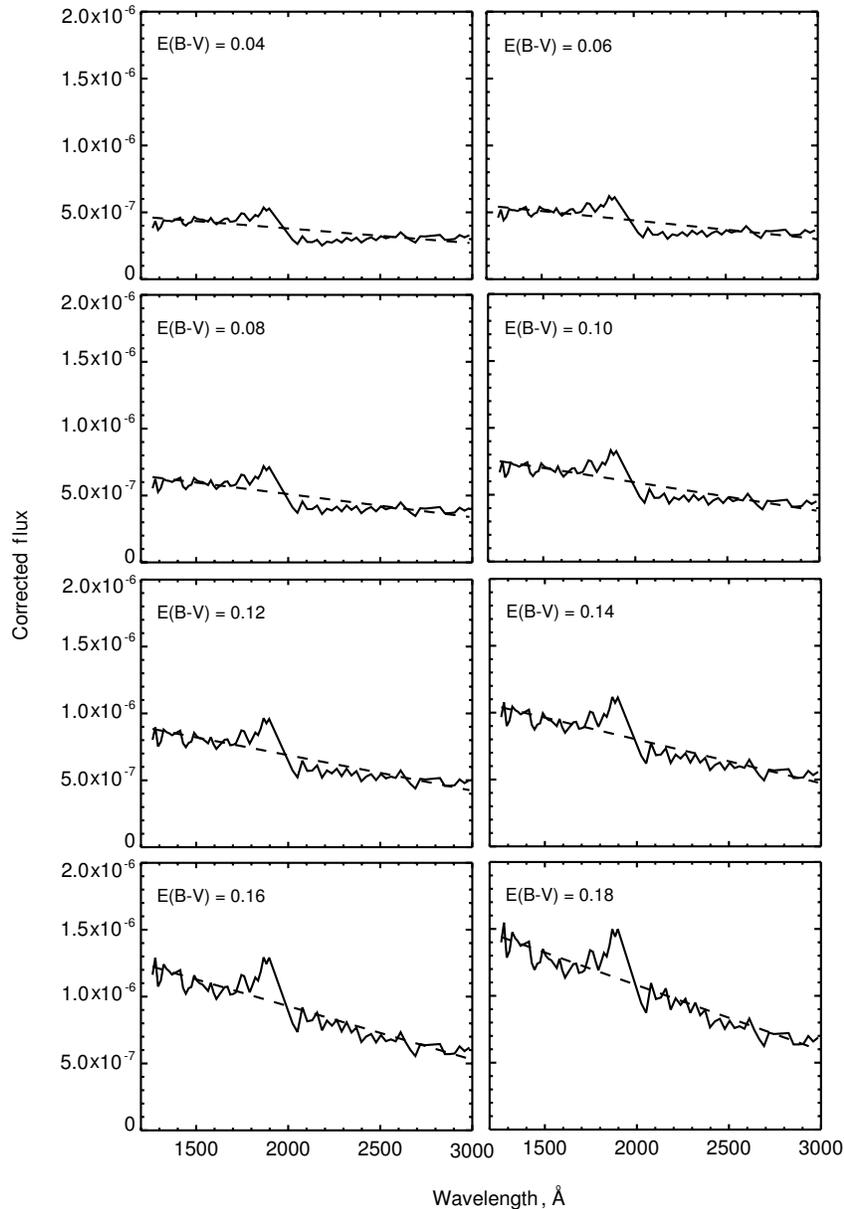


Рис. 3. Определение покраснения для TV Col. Пунктирная линия показывает аппроксимацию наблюдательных данных.

Темпы аккреции вещества для TV Col во время и после вспышечной активности больше темпов аккреции для промежуточных полярнов PQ Gem и V 405 Aur [28] и сравнимы с темпами аккреции промежуточных полярнов AO Psc, V 1223 Sgr [29] во вспышечном и спокойном состоянии.

Мы определили температуру излучающей области пользуясь уравнением Стефана-Больцмана:

$$L = \sigma AT^4, \quad (4)$$

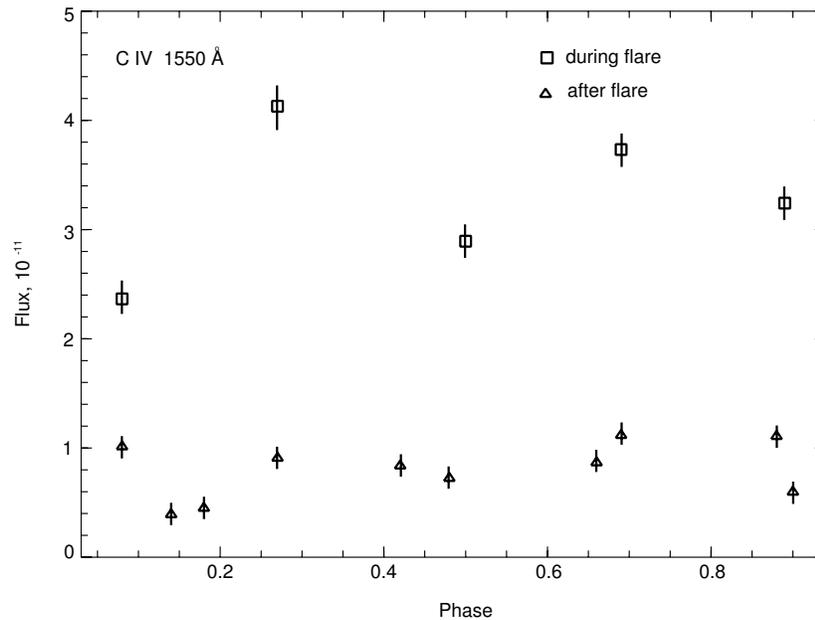
где $\sigma \approx 5.6704 \times 10^{-5}$ - постоянная Стефана-Больцмана а A - площадь поверхности.

Таким образом, мощность излучаемая единичной площадкой внешнего диска пропорциональна четверной степени кельвиновской температуры. Мы нашли, что средняя температура во время вспышки составляет около 3.5×10^3 К, тогда как после вспышки она 2×10^3 К.

Вспышечная активность найденная по наблюдениям IUE может быть интерпретирована в рамках следующих физических представлений. TV Col подвергся резкому увеличению темпа аккреции массы с 10^{13} эрг с⁻¹ в спокойном состоянии до 10^{15} эрг с⁻¹ во время вспышки, как указывалось выше. Эта резкая смена темпа аккреции вызывает

Таблица 2. Потоки в линиях C IV и He II для TV Col (в единицах эрг см⁻² с⁻¹)

Идентификатор изображения	Состояние вспышки	Фаза	C IV 1550 Å	He II 1640 Å
SWP18623	во время вспышки	0.50	2.89E-11	1.29E-11
SWP18624	во время вспышки	0.27	4.13E-11	2.35E-11
SWP18625	во время вспышки	0.08	2.36E-11	1.28E-11
SWP18626	во время вспышки	0.89	3.24E-11	1.13E-11
SWP18627	во время вспышки	0.69	3.73E-11	1.61E-11
SWP18631	после вспышки	0.48	7.23E-12	1.12E-12
SWP18632	после вспышки	0.27	9.07E-12	2.19E-12
SWP18633	после вспышки	0.08	1.01E-11	3.19E-12
SWP18634	после вспышки	0.88	1.11E-11	1.91E-12
SWP18635	после вспышки	0.69	1.12E-11	2.42E-12
SWP18643	после вспышки	0.14	3.91E-12	1.23E-12
SWP18644	после вспышки	0.90	5.97E-12	1.33E-12
SWP18645	после вспышки	0.66	8.66E-12	1.56E-12
SWP18646	после вспышки	0.42	8.36E-12	1.19E-12
SWP18647	после вспышки	0.18	4.49E-12	9.24E-13
SWP18648	после вспышки	0.95	4.59E-12	8.35E-13

**Рис. 4.** Изменение потока в линии C IV во время и после вспышки с фазой; для каждой точки показаны ошибки 1σ (поток показан в единицах эрг см⁻² с⁻¹ Å⁻¹).

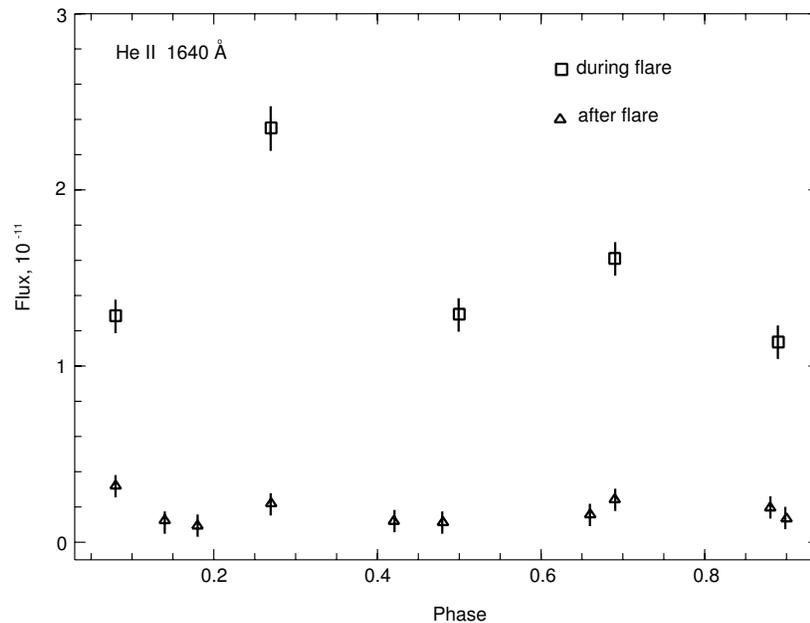


Рис. 5. Изменение потока в линии He II во время и после вспышки с фазой; для каждой точки показаны ошибки 1σ (поток показан в единицах $\text{эрг см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{\AA}^{-1}$).

увеличенную активность и подогрев поверхности главной звезды (белого карлика), а следовательно, также нагреваются внутренние и внешние части диска, с последующим существенным увеличением потока в эмиссионных линиях с $4.49 \times 10^{-12} \text{ эрг см}^{-2} \text{с}^{-1}$ до $4.13 \times 10^{-11} \text{ эрг см}^{-2} \text{с}^{-1}$. Это означает, что и плотность и температура во время вспышечной активности увеличены, что приводит к вариациям значений потоков в линиях.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проанализировали и интерпретировали спектральное поведение промежуточного поляря TV Col, наблюдаемого IUE с низким разрешением в ноябре 1982. Наша главная цель была в диагностике излучающей области на предмет потоков в линиях и некоторых физических параметров во время и после вспышечной активности.

Наши основные результаты и выводы следующие:

1. Резкое увеличение темпа аккреции массы привело к вспышечной активности, длящейся несколько часов в ноябре 1982.
2. Получено новое значение покраснения по абсорбции на 2200 \AA .
3. Переменность потока в линиях во время вспышечной активности вызвана вариациями плотности и температуры во внешнем диске.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. E. Pringle and F. Verbunt, *ESA Special Publ.* **218**, 377 (1984).
2. P. Szkody, *ESA Special Publ.* **236**, 39 (1985).
3. F. A. Cordova and I. D. Howarth, *Astrophys. Space Sci. Library* **129**, 395 (1987).
4. B. T. Gänsicke, D. de Martino, T. R. Marsh, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **306**, 177 (2006).
5. D. de Martino and B. T. Gänsicke, *Astrophys. and Space Sci.* **320**, 135 (2009).
6. D. Q. Lamb and J. Patterson, *Astrophys. Space Sci. Library* **101**, 229 (1983).
7. B. A. Cooke, M. J. Ricketts, T. Maccacaro, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **182**, 489 (1978).
8. D. A. Schwartz, G. Fabbiano, R. E. Griffiths, et al., *Astron. J.* **84**, 1560 (1979).
9. P. Charles, J. Thorstensen, S. Bowyer, and J. Middleditch, *Astrophys. J. Lett.* **231**, L131 (1979).
10. D. J. Watts, J. G. Greenhill, P. W. Hill, and R. M. Thomas, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **200**, 1039 (1982).
11. C. Motch, *Astron. and Astrophys.* **100**, 277 (1981).
12. J. B. Hutchings, D. Crampton, A. P. Cowley, et al., *Astrophys. J.* **249**, 680 (1981).
13. J. M. Bonnet-Bidaud, K. Beuermann, P. A. Charles, et al., *ESA Special Publ.* **236**, 155 (1985).
14. C. Hellier, K. O. Mason, and J. P. D. Mittaz, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **248**, 5P (1991).
15. J. Schrijver, A. C. Brinkman, H. van der Woerd, et al., *Space Sci. Rev.* **40**, 121 (1985).
16. J. Schrijver, A. C. Brinkman, and H. van der Woerd, *Astrophys. and Space Sci.* **130**, 261 (1987).

17. C. Hellier and D. A. H. Buckley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **265**, 766 (1993).
18. C. Hellier, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **264**, 132 (1993).
19. P. Szkody and M. Mateo, *Astrophys. J.* **280**, 729 (1984).
20. H. E. Schwarz, S. van Amerongen, M. H. M. Heemskerk, and J. van Paradijs, *Astron. and Astrophys.* **202**, L16 (1988).
21. H. E. Schwarz and M. H. M. Heemskerk, *IAU Circ.*, № 4508 (1987).
22. M. Mouchet, S. A. Ilovaisky, C. Chevalier, and J. M. Bonnet-Bidaud, *Astron. and Astrophys.* **102**, 31 (1981).
23. P. M. Rodríguez-Pascual, R. González-Riestra, N. Schartel, and W. Wamsteker, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **139**, 183 (1999).
24. R. González-Riestra, A. Cassatella, and W. Wamsteker, *Astron. and Astrophys.* **373**, 730 (2001).
25. M. Mateo, P. Szkody, and J. Hutchings, *Astrophys. J.* **292**, 763 (1985).
26. D. D. Lenz and T. R. Ayres, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **104**, 1104 (1992).
27. B. E. McArthur, G. F. Benedict, J. Lee, et al., *Astrophys. J.* **560**, 907 (2001).
28. M. R. Sanad, *Astrophys. J.* **812**, 97 (2015).
29. M. R. Sanad, *Astrophys. and Space Sci.* **356**, 43 (2015).

Ultraviolet Spectral Behavior of TV Col During and After Flaring Activity

M. R. Sanad and M. A. Abdel-Sabour

We studied the intermediate polar TV Col during and after its flare in November 1982 observed in the ultraviolet range with the International Ultraviolet Explorer. Two spectra revealing the variations of emission lines at different times are presented. We have estimated a new value of the reddening from the 2200 Å absorption feature, $E(B - V) = 0.12 \pm 0.02$, and calculated the line fluxes of C IV and He II emission lines produced in the outer accretion disk. The average ultraviolet luminosity of emitting region during and after the flare is approximately $4 \times 10^{32} \text{ ergs}^{-1}$ and $9 \times 10^{30} \text{ ergs}^{-1}$, the corresponding average mass accretion rate is nearly $3 \times 10^{15} \text{ ergs}^{-1}$ ($4.76 \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) and $5 \times 10^{13} \text{ ergs}^{-1}$ ($7.93 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$), and the average temperature of the emitting region during and after flare is estimated to be of about $3.5 \times 10^3 \text{ K}$ and $2 \times 10^3 \text{ K}$. We attribute this flare to a sudden increase in the mass accretion rate leading to the outburst activity.

Keywords: *stars: individual: TV Col*