

УДК 524.388-13/14

ФАЗОВО-РАЗРЕШЕННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПОЛЯРА С КОРИЧНЕВЫМ КАРЛИКОМ V379 VIR

© 2026 М. В. Сусликов^{1, 2*}, А. И. Колбин², Н. В. Борисов²¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия²Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 30 октября 2025 года; после доработки 12 ноября 2025 года; принята к публикации 14 ноября 2025 года

Поляр V379 Vir является известной магнитной катаклизмической переменной с коричневым карликом. Несмотря на многочисленные исследования этой системы в различных спектральных диапазонах, детальное изучение орбитальной переменности ее оптических спектров не проводилось. В настоящей работе мы проанализировали спектральные наблюдения V379 Vir, полученные на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Орбитальная переменность эмиссии H α указывает на то, что линия, скорее всего, образуется в аккреционной струе около точки Лагранжа L_1 , а не на поверхности донора, как считалось ранее. Анализ вращательной переменности зеемановского расщепления водородных линий указывает на сложную топологию магнитного поля белого карлика, которая отлична от дипольной.

Ключевые слова: *звезды: новые, катаклизмические переменные — звезды: отдельные: V379 Vir (SDSS J121209.31+013627.7) — методы: наблюдательные — технические средства: фотометрические — технические средства: спектроскопические*

1. ВВЕДЕНИЕ

Поляры (или звезды типа AM Her) представляют собой подкласс катаклизмических переменных — полуразделенных двойных систем с аккрецирующим белым карликом и маломассивной звездой-донором (Hellier, 2001; Warner, 1995). В полярах белый карлик (БК) имеет сильное магнитное поле ($B \sim 10\text{--}100$ МГс), которое препятствует формированию аккреционного диска, направляя аккреционный поток вдоль силовых линий к окрестностям одного или обоих магнитных полюсов (Storper, 1990). При ударе падающего газа о поверхность БК образуются аккреционные пятна, которые являются источниками рентгеновского излучения и поляризованного циклотронного излучения, наблюдаемого в оптическом и инфракрасном диапазонах. Благодаря сильному магнитному полю поляры всегда (за исключением небольшой группы так называемых асинхронных полярсов) представляют собой синхронные системы, в которых период вращения БК равен орбитальному периоду.

Поляр V379 Vir (SDSS J121209.31+013627.7) был объектом многочисленных исследований. Уникальность V379 Vir впервые отмечена Schmidt et al. (2005), которые показали, что эта система является короткопериодической ($P_{\text{orb}} = 88.4$ мин)

катаклизмической переменной с замагниченным БК ($B \approx 7$ МГс) и коричневым L-карликом. Источник принадлежит к довольно малочисленной группе старых катаклизмических переменных, именуемых период-баунсерами (Knigge et al., 2011). Schmidt et al. (2005) отметили низкий темп аккреции в V379 Vir и предположили, что система является разделенной, а аккреция осуществляется посредством звездного ветра вторичной компоненты. Наблюдения в ближнем инфракрасном диапазоне подтвердили наличие холодного донора с температурой $T_{\text{eff}} \leq 1700$ К, а также обнаружили переменное циклотронное излучение (Debes et al., 2006; Farihi et al., 2008). Анализ рентгеновских наблюдений XMM-Newton выявил вращательно-модулированную переменность, обусловленную присутствием аккреционного пятна на БК (Stelzer et al., 2017). На основе моделирования спектрального распределения энергии Suslikov et al. (2025) получены оценки массы БК, его температуры и темпа аккреции: $M_1 = 0.61 \pm 0.05 M_{\odot}$, $T_{\text{eff}} = 10930 \pm 350$ К и $\dot{M} \approx 3 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$. Сделано предположение, что V379 Vir является полуразделенной двойной системой, пребывающей в продолжительном (примерно 20 лет) низком состоянии. В настоящей работе мы приводим результаты анализа фазово-разрешенной спектроскопии V379 Vir. Наша задача заключалась в

*E-mail: mvsuslikov@outlook.com

Таблица 1. Журнал наблюдений V379 Vir. В колонках таблицы перечислены: (1) — телескопы и приборы, использовавшиеся в наблюдениях; (2) — наблюдательные ночи; (3) — продолжительность наблюдений; (4) — количество полученных спектров источника; (5) — регистрируемый спектральный диапазон; (6) — длительность экспозиций

Телескоп/Прибор	Дата, LT	Продолжительность, мин	<i>N</i>	Диапазон	Δt_{exp} , с
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
БТА/SCORPIO-1	07/08 мая 2007	86	15	3900–5700 Å	300
БТА/SCORPIO-1	25/26 апреля 2022	118	22	4000–7200 Å	300
РТТ-150/TFOSC	07/08 мая 2022	182	72	<i>B</i>	120

исследовании орбитальной переменности эмиссии $H\alpha$, содержащей информацию о структуре аккреционных потоков, а также в изучении вращательной переменности наблюдаемого магнитного поля БК.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

2.1. Спектроскопия

Спектральные наблюдения V379 Vir выполнялись на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН). Телескоп оснащен фокальным редуктором SCORPIO-1¹⁾, используемым в режиме длиннощелевой спектроскопии (Afanasiev and Moiseev, 2005). Были проведены два сета наблюдений: в ночь 7/8 мая 2007 г. и в ночь 25/26 апреля 2022 г. В первых наблюдениях применялась гризма VPHG1200G (1200 шт./мм) и щель шириной 1". Это позволило зарегистрировать спектры в диапазоне 4000–5700 Å с разрешением $\Delta\lambda \approx 5$ Å. Во втором случае использовалась гризма VPHG550G (550 шт./мм) с щелью шириной 1"2. При этом спектры получались в диапазоне 4000–7300 Å с разрешением $\Delta\lambda \approx 12$ Å. В ходе первого и второго сета удалось получить 15 и 22 спектра V379 Vir соответственно, покрывающих период системы. Каждый спектр получен с экспозицией 300 с. Журнал наблюдений приведен в таблице 1.

Обработка спектральных данных осуществлялась при использовании стандартных процедур редукции длиннощелевых спектров, реализованных в программном пакете IRAF²⁾. Из изображений вычитались кадры электронного нуля (bias), а также

¹⁾Описание прибора SCORPIO-1 можно найти по адресу: <https://www.sao.ru/hq/lfsvo/devices/scorpio/scorpio.html>.

²⁾Пакет программ для обработки и анализа астрономических данных IRAF доступен по адресу: <https://iraf-community.github.io>.

проводилось удаление следов космических частиц при помощи алгоритма L. A. COSMIC (van Dokkum, 2001). Коррекция изображений за неоднородную чувствительность прибора осуществлялась на основе снимков лампы плоского поля. Исправление геометрических искажений и калибровка спектров по длинам волн выполнялись с использованием кадров лампы He-Ne-Ar. Проведена оптимальная экстракция спектров (Horne, 1986) с вычитанием фона неба. Спектрофотометрическая калибровка сделана на основе наблюдений стандартов H α 44 (наблюдения 2007 г.) и AGK+81°266 (наблюдения 2022 г.). Для каждого спектра получена барицентрическая юлианская дата середины экспозиции, а также барицентрическая поправка к лучевой скорости. Вычисление орбитальных фаз, соответствующих моментам наблюдений, выполнено с использованием периода P_{orb} из Suslikov et al. (2025) и начальной эпохи $\text{BJD}(\varphi = 0) = 2453798.5956(5)$, полученной в предположении формирования эмиссии $H\alpha$ на поверхности донора (см. раздел 3.2).

2.2. Фотометрия

Наблюдения V379 Vir проводились в ночь 7/8 апреля 2022 г. на 1.5-м телескопе РТТ-150 (Турецкая национальная обсерватория TÜBİTAK) с использованием прибора TFOSC в режиме фотометрии. В результате были получены 72 прямых изображения в полосе *B* системы Джонсона с экспозициями 120 с. Обработка фотометрических данных выполнялась средствами программных библиотек `astropy`³⁾ и `photutils`⁴⁾. Процедура предварительной обработки заключалась в вычитании усредненного кадра электронного нуля, исправлении неоднородностей чувствительности прибора и удалении следов космических частиц. В

³⁾Библиотека для работы с астрономическими данными `astropy` доступна по адресу: <https://www.astropy.org>.

⁴⁾Пакет для фотометрии астрономических источников `photutils` доступен по адресу: <https://photutils.readthedocs.io>.

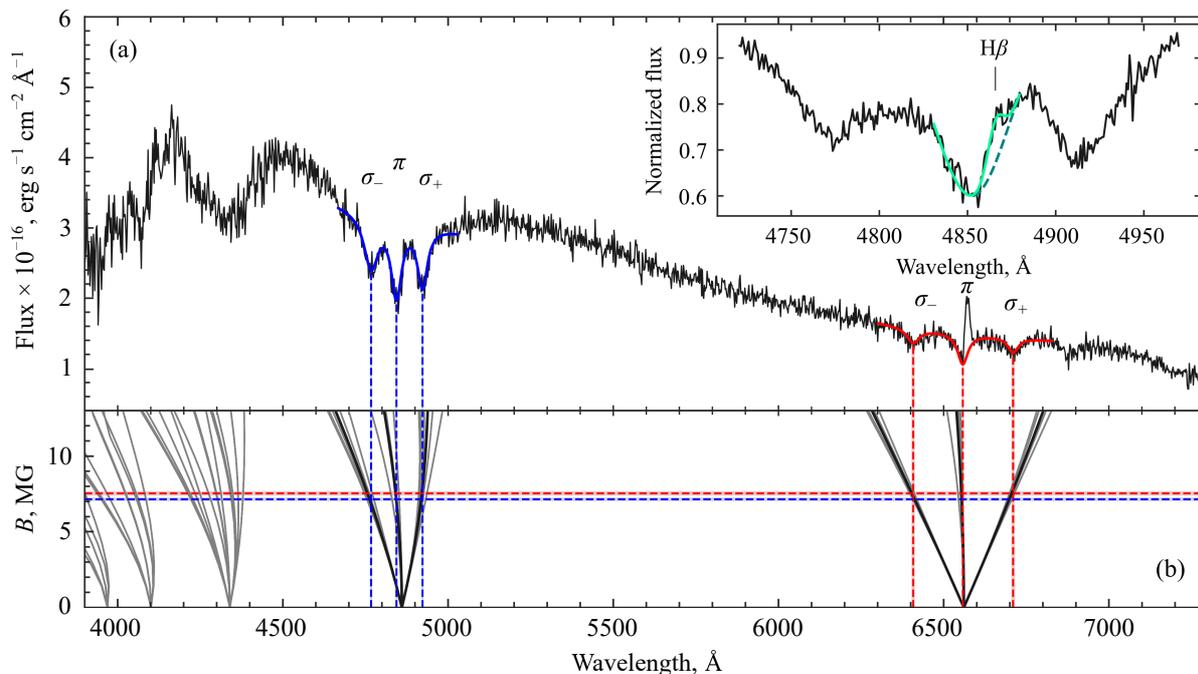


Рис. 1. Пример спектра V379 Vir — панель (a); диаграмма зеемановского расщепления водородных линий — панель (b). Показан пример описания зеемановских триплетов H α и H β набором профилей Лоренца. Вертикальными линиями отмечено положение компонент зеемановских триплетов. Вставка на панели (a) демонстрирует нормированный фазово-усредненный спектр в области линии H β со слабой эмиссией.

целях достижения наибольшего S/N применялся метод PSF-фотометрии.

3. АНАЛИЗ ЭМИССИИ H α

3.1. Лучевые скорости

Полученные на БТА спектральные ряды демонстрируют «синий» наклон континуума, наличие абсорбционных компонент зеемановского расщепления линий H α , H β , H γ и H δ , а также слабую эмиссию H α (см. рис. 1). Кроме того, на фазово-усредненном спектре за 2007 год на фоне зеемановских компонент выделяется эмиссия H β . В целом спектральные особенности V379 Vir согласуются с ожидаемыми для слабоаккрецирующего замагниченного БК, что было отмечено Schmidt et al. (2005). Зеемановские компоненты периодически смещаются из-за изменения конфигурации магнитного поля по отношению к наблюдателю. Положение слабой эмиссионной линии H α изменится на шкале орбитального периода. Динамические спектры в областях линий H β и H α , отражающие периодичность в положении компонент линий, показаны на рис. 2.

Для анализа эмиссии H α необходимо выделить ее на фоне абсорбционных π - и σ^\pm -компонент, меняющих свое положение в течение периода. Для этого из окрестности линии H α сначала был вычтен уровень непрерывного спектра, описанный

полиномом низкой степени. Затем абсорбционные компоненты описывались суммой трех гауссиан: $A_i \exp[-(\lambda - \lambda_i^0)^2/2\sigma_i^2]$, где индекс i соответствует компоненте расщепления ($i = \pi, \sigma^-, \sigma^+$), A — высота гауссианы, σ — стандартное отклонение, λ^0 — положение центра компоненты зеемановского расщепления. При описании наблюдаемого спектра исключались области, занятые эмиссией H α . Параметры гауссиан (амплитуда, центральная длина волны, ширина профиля) считались меняющимися с фазой по гармоническому закону: $f_j(\varphi) = a_{i,j} + b_{i,j} \sin[2\pi(\varphi - \varphi_{i,j}^0)]$, где $i = \pi, \sigma^-, \sigma^+$, а индекс j соответствует параметру гауссианы ($j = A, \lambda^0, \sigma$). Параметры движущихся гауссиан находились методом наименьших квадратов. Минимизация χ^2 проводилась с помощью симплекс-метода Нелдера–Мида. Динамический спектр подложки описан при значении критерия приведенного хи-квадрат $\chi^2_\nu = 1.33$. На рис. 2 представлены динамические спектры окрестности линии H α до и после вычитания абсорбционной подложки.

Лучевые скорости эмиссии H α плохо описываются одной синусоидой, что указывает на несколько источников формирования эмиссии или на один протяженный источник. Известно, что эмиссионные линии полярных областей имеют многокомпонентную структуру (Schwone et al., 1997) и при невысоком спектральном разрешении часто

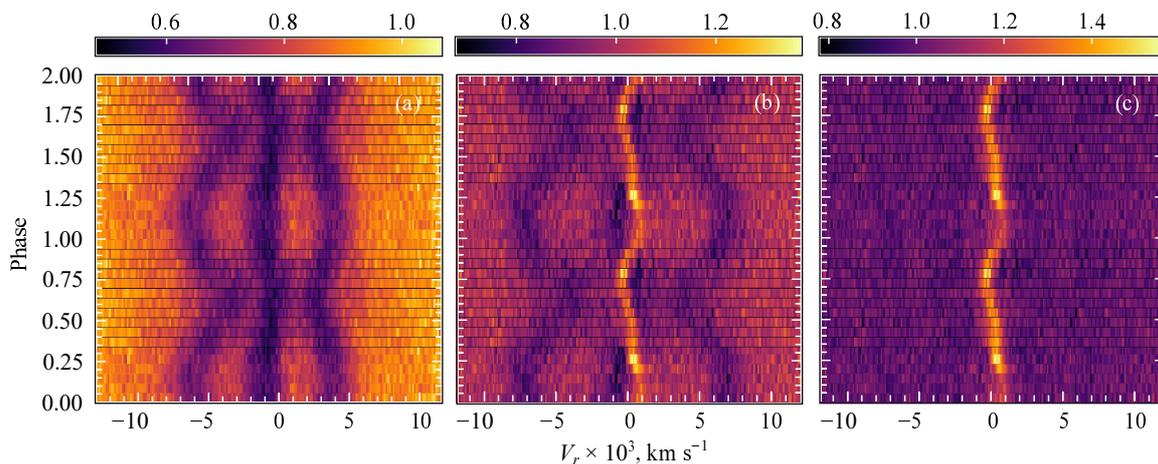


Рис. 2. Динамические спектры в областях линий $H\beta$ (а) и $H\alpha$ до (б) и после (с) вычета абсорбционной подложки.

удовлетворительно описываются двумя компонентами (см., например, Kolbin et al., 2023; Liu et al., 2023). Для исследования поведения эмиссии $H\alpha$ в V379 Vir мы предположили, что линия описывается двумя компонентами с гауссовым профилем. Считалось, что их ширина постоянна, а лучевые скорости гауссиан изменяются синусоидально в течение орбитального периода. Высоты гауссиан подбирались индивидуально для каждого спектра. Параметры компонент линии (высота и ширина гауссиан, амплитуды их лучевых скоростей, начальные фазы, гамма-скорости) находились методом наименьших квадратов. Наилучшее описание динамического спектра (см. рис. 3) достигнуто комбинацией яркого и тусклого источников с полуамплитудами лучевых скоростей $K_b = 320 \pm 13 \text{ км с}^{-1}$ и $K_w = 989 \pm 27 \text{ км с}^{-1}$, шириной профилей $\sigma_b = 391 \pm 8 \text{ км с}^{-1}$ и $\sigma_w = 309 \pm 14 \text{ км с}^{-1}$, гамма-скоростями⁵⁾ $\gamma_b = 120 \pm 10 \text{ км с}^{-1}$ и $\gamma_w = -29 \pm 18 \text{ км с}^{-1}$ соответственно. При этом лучевые скорости яркого источника отстают по фазе от скоростей тусклого источника на $\Delta\varphi = 0.16 \pm 0.01$. Качество аппроксимации динамического спектра $H\alpha$ характеризуется приведенным хи-квадрат: $\chi^2_\nu = 1.25$. Отметим, что описание переменности эмиссии $H\alpha$ одной гауссианой заметно хуже и имеет $\chi^2_\nu = 1.63$. Schmidt et al. (2005) предположили, что большая часть потока в эмиссии $H\alpha$ формируется на поверхности донора. Полученная нами полуамплитуда лучевых скоростей яркого источника согласуется с их измерениями ($K = 320 \pm 20 \text{ км с}^{-1}$). Интересно, что гамма-скорость тусклого компонента примерно на 150 км с^{-1} меньше скорости яркого. Это разли-

чие может свидетельствовать о выносе вещества аккреционной струи над орбитальной плоскостью магнитным полем БК.

3.2. Доплеровская томография

Метод доплеровской томографии позволяет на основе фазово-разрешенной спектроскопии восстановить распределение источников эмиссионных линий в пространстве скоростей (так называемые доплеровские томограммы). Обычно используют двухмерное пространство скоростей, базисные векторы которого лежат в орбитальной плоскости. Любая точка в пространстве скоростей описывается парой полярных координат: модулем скорости v относительно центра масс системы (с точностью до $\sin i$, где i — наклонение орбитальной плоскости) и углом ϑ , определяющим направление движения излучающей частицы (обычно отсчитываемым от линии, соединяющей центры масс звездных компонентов). Доплеровские томограммы могут быть представлены в двух проекциях: стандартной, где модуль скорости v возрастает от центра томограммы к периферии, и вывернутой (inside-out), где v убывает от центра к краям. Последняя удобна для анализа высокоскоростных структур, размывающихся по большой площади в стандартной проекции. Подробности метода описаны в работах Kotze et al. (2015, 2016) и Marsh and Schwöpe (2016).

Для восстановления доплеровских карт V379 Vir в линии $H\alpha$ мы использовали программный код Kotze et al. (2016), реализующий метод максимума энтропии. Поскольку эмиссия $H\alpha$ имеет переменный поток (см. рис. 3), вызванный затмениями или большой оптической толщиной источника, был применен так называемый потокомодулированный вариант томографии, предполагающий синусоидальное изменение интенсивности источников в течение орбитального периода (Steehfs, 2003). Фазы

⁵⁾Нужно учитывать, что лучевые скорости могут иметь неопределенность в несколько десятков км с^{-1} из-за неоднородной засветки щели SCORPIO-1.

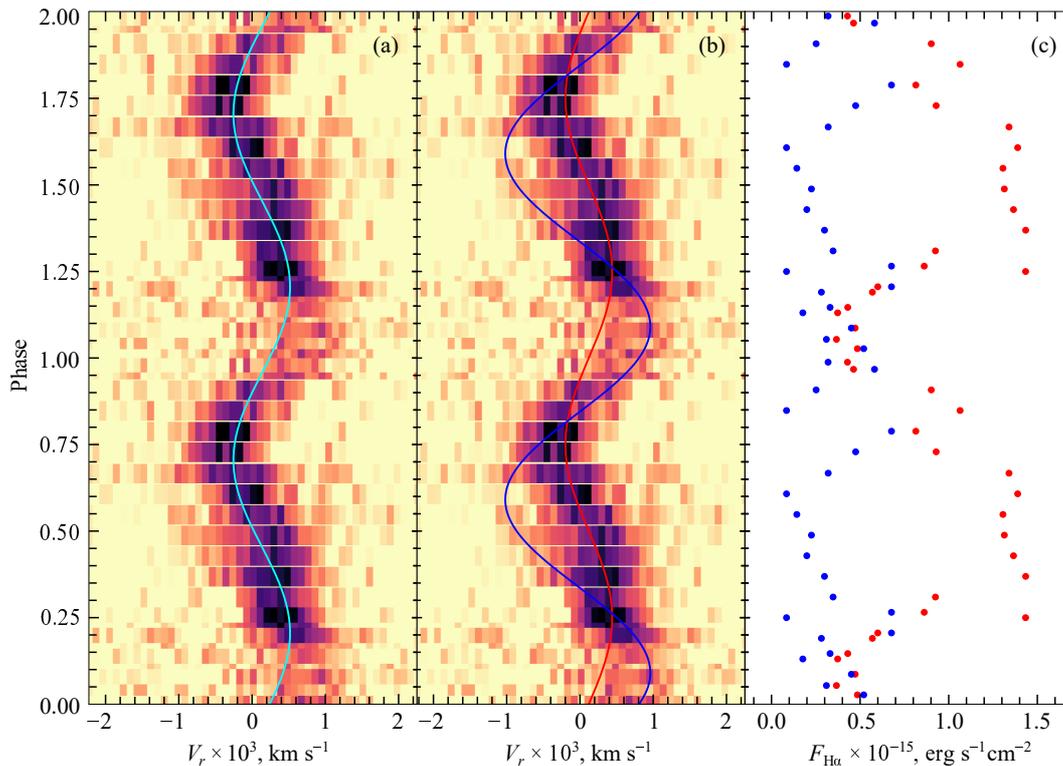


Рис. 3. Панель (а): динамический спектр эмиссии $\text{H}\alpha$ с вычтенной подложкой. На спектр наложена кривая лучевых скоростей для одного источника. Панель (б): тот же динамический спектр, но с наложенными кривыми лучевых скоростей яркого низкоскоростного (красная синусоида) и тусклого высокоскоростного (синяя синусоида) компонентов. Панель (с): изменение полного потока в эмиссии $\text{H}\alpha$ для яркого (красные точки) и тусклого (синие точки) компонентов в течение периода.

орбитального периода мы вычисляли, предполагая, что яркий компонент линии образуется на облучаемой поверхности донора (Schmidt et al., 2005). Фаза $\varphi = 0$, согласно этому предположению, соответствовала нижнему соединению донора, где скорость яркого компонента равна γ_b . Полученные доплеровские томограммы в стандартной и вывернутой проекциях представлены соответственно на панелях (а) и (с) рис. 4. На томограммах указаны положения яркого и тусклого источников, найденные ранее декомпозицией динамического спектра движущимися гауссианами. Яркий источник располагается на линии $\vartheta = 90^\circ$, то есть его движение сонаправлено с движением донора. Это является прямым следствием принятой нами гипотезы о положении источника на поверхности донора. На доплеровские карты наложена модель системы, построенная на основе параметров компонентов, найденных Suslikov et al. (2025). Наклонение орбиты $i \approx 60^\circ$ выбрано исходя из совмещения максимума интенсивности $\text{H}\alpha$ с облучаемой поверхностью донора. Видно, что тусклый компонент имеет большую скорость по сравнению с частицами на баллистической траектории и, вероятно, рождается в струе, движущейся вдоль линий магнитного поля. Однако, если это действительно так, положение магнитного участка струи

нетипично для полярных. Обычно он располагается в третьей четверти томограммы или близко к ней (см., например, Schwobe et al. 1997; Kolbin et al. 2022). Можно предположить, что яркий компонент образуется не на поверхности донора, а в аккреционной струе вблизи точки Лагранжа L_1 . Тогда мы можем повернуть томограмму на угол $\Delta\vartheta \approx 45^\circ$, чтобы центр яркости яркого компонента ложился на баллистическую траекторию (см. панели (b) и (d) на рис. 4). В таком случае положение тусклого компонента согласуется с движением газа вдоль линий магнитного поля. Для примера мы наложили на повернутые томограммы траектории движения газа по линиям магнитного поля при наклоне магнитного диполя $\beta = 25^\circ$ и долготе магнитного полюса $\psi = 45^\circ$.

3.3. Природа эмиссии $\text{H}\alpha$

В литературе обсуждались две гипотезы формирования эмиссии $\text{H}\alpha$ в V379 Vir:

- 1) облучение поверхности донора рентгеновским излучением пятна (Schmidt et al., 2005) и
- 2) хромосферная активность донора (Howell et al., 2006), концентрирующаяся в окрестности точки Лагранжа L_1 .

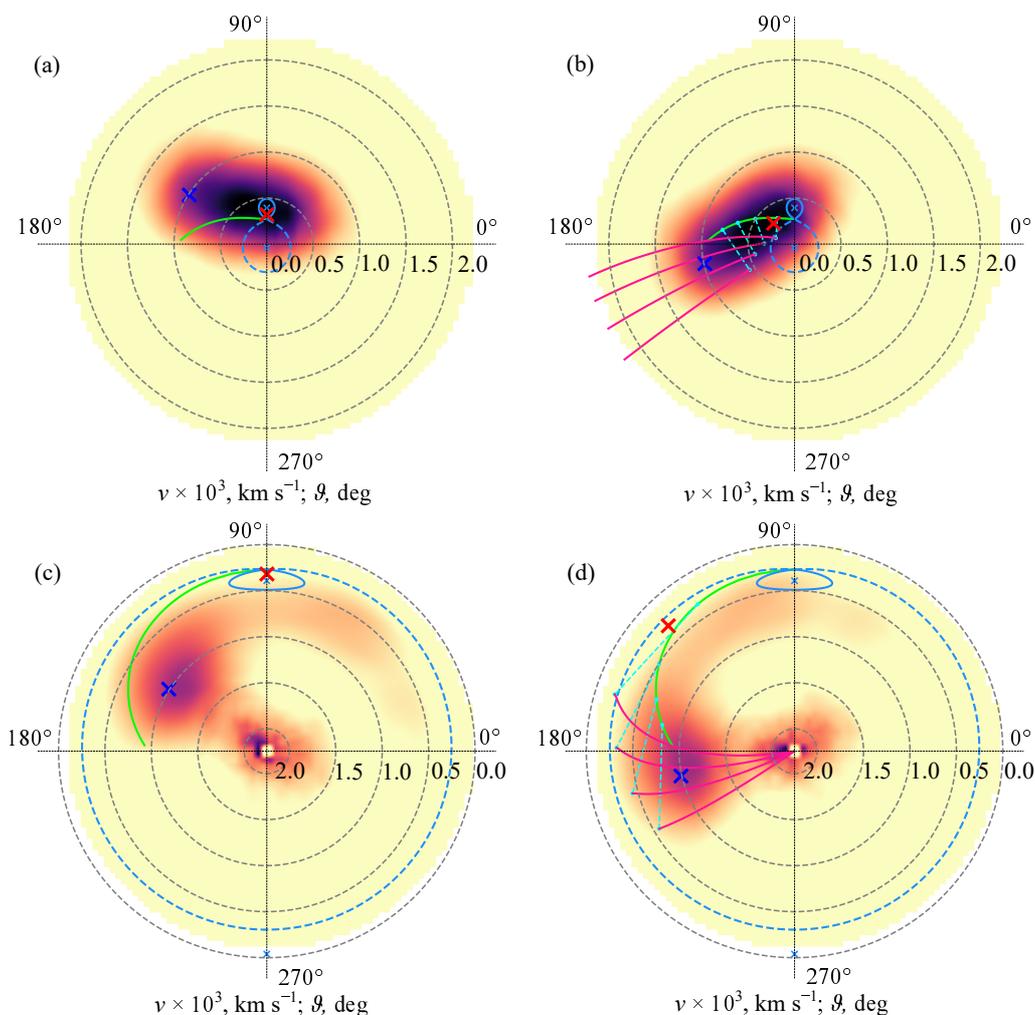


Рис. 4. Доплеровские томограммы V379 Vir в эмиссии $H\alpha$ в стандартной (a) и вывернутой (c) проекциях, вычисленные в предположении формирования яркого компонента линии на облучаемой поверхности донора, и те же самые томограммы (b) и (d), повернутые на угол $\Delta\vartheta \approx 45^\circ$. На томограммах указаны центры: красный крестик — яркий компонент, синий крестик — тусклый. Зеленой линией указана баллистическая траектория аккреционной струи, а красными — скорости частиц на магнитной траектории.

Отсутствие связи эмиссии $H\alpha$ с эффектом переизлучения следует из того, что поток в линии $H\alpha$, возникающей при переизлучении, не должен превышать поток рентгеновского излучения, падающего на поверхность донора. При этом справедливо неравенство $F_{H\alpha}/F_X \lesssim \Omega/4\pi$, где $F_{H\alpha} \approx 1.4 \times 10^{-15}$ эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$ — поток в ярком компоненте эмиссионной линии $H\alpha$, $F_X \approx 1.5 \times 10^{-13}$ эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$ — рентгеновский поток (Stelzer et al., 2017), Ω — телесный угол, под которым виден донор со стороны БК. Если коричневый карлик заполняет свою полость Роша, телесный угол можно найти как $\Omega = \pi(R_L/A)^2$, где R_L — эффективный радиус полости Роша донора, A — большая полуось. Отношение R_L/A можно связать с отношением масс компонентов через соотношение Eggleton (1983). Таким образом, если

принять массу БК $M_1 = 0.61 M_\odot$ (Suslikov et al., 2025), получим, что при эффекте переизлучения наблюдаемое отношение потоков возможно в случае $M_2 > 0.08 M_\odot$. Это ограничение не согласуется с субзвездной природой донора в V379 Vir, следовательно, эмиссия $H\alpha$ должна иметь иную природу.

Оценка отношения потоков в бальмеровских линиях может быть косвенным индикатором механизма формирования эмиссии. Фазово-усредненный полный поток в линиях $H\alpha$ и $H\beta$ составляет $\langle F_{H\alpha} \rangle = 1.27 \times 10^{-15}$ эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$ и $\langle F_{H\beta} \rangle = 4.56 \times 10^{-16}$ эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$ соответственно. В таком случае бальмеровский декремент оказывается равен $\langle F_{H\alpha} \rangle / \langle F_{H\beta} \rangle \approx 2.8$, что характерно для механизма флуоресценции в оптически тонкой среде. Однако мы не можем однозначно утверждать

об области формирования эмиссий, основываясь на значении бальмеровского декремента, ввиду неоднозначности оценки потока $H\beta$.

Доплеровские томограммы V379 Vir, исследованные в предыдущем разделе, также вызывают сомнение относительно происхождения эмиссии $H\alpha$ на поверхности донора. Основным источником излучения линии имеет вытянутую структуру, и как минимум часть эмиссии $H\alpha$ должна формироваться в аккреционной струе. Исходя из предположения формирования яркой компоненты $H\alpha$ на доноре, трудно интерпретировать полученные доплеровские томограммы «стандартной» моделью аккреции в поляре, включающей в себя баллистическую и магнитную траектории. Однако типичное для полярных распределение эмиссии получается при небольшом повороте томограммы, когда яркий компонент располагается на аккреционной струе. Наблюдаемые изменения потока в линии $H\alpha$ можно обосновать затмениями частей аккреционной струи донором.

Похожие явления были замечены в низком состоянии поляра ВМ СгВ (Kolbin et al., 2023). В этой системе наблюдались затмения источника эмиссий, которые, на первый взгляд, очень похожи на заход области облучения за диск донора. Однако это не могло объяснить наблюдаемую ширину затмения и кривую лучевых скоростей эмиссий, из-за чего было предположено, что источником эмиссий является аккреционная струя вблизи донора. Другой пример — затменная система 1RXS J184542.4+483134 (Kochkina et al., 2023). В эмиссионных профилях этого поляра наблюдалась узкая компонента, поведение которой было очень похоже на область переизлучения. Однако доплеровская томография показывает, что эмиссионная компонента образуется на удалении от донора.

4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ БЕЛОГО КАРЛИКА

4.1. Магнитная кривая

Как было отмечено в предыдущем разделе, спектры V379 Vir содержат абсорбционные компоненты зеемановского расщепления линий $H\alpha$ и $H\beta$, положение которых изменяется с орбитальным периодом и, соответственно, периодом вращения БК. Для определения положения σ^\pm - и π -компонент их общий профиль был описан суммой трех профилей Лоренца: $f(\lambda) = A\gamma^2 / [\gamma^2 + (\lambda - \lambda_0)^2]$, где λ_0 — искомая длина волны компоненты расщепления, A и γ — свободные параметры. Эмиссия $H\alpha$ была предварительно удалена из спектров. Ошибки положения компонент линий определялись методом Монте-Карло. Для измерения магнитного поля БК нами были рассчитаны энергии разрешенных

переходов в атоме водорода, находящемся в сильном магнитном поле. Вычисление энергетического спектра выполнялось с использованием программного кода Schimeczek and Wunner (2014). Длины волн переходов на второй энергетический уровень, соответствующих линиям $H\alpha$ и $H\beta$, для индукции магнитного поля $B = 0-13$ МГс представлены на рис. 1б.

Аналогичным способом мы определили магнитное поле по каждому спектру двух сетов наблюдений. Кривая изменения магнитного поля в фазах орбитального периода представлена на рис. 5а. Видно, что магнитное поле изменяется синусообразно в пределах $B \approx 4.5-7.5$ МГс. Также из рис. 5 мы можем отметить близость максимума магнитного поля к фазе максимума блеска, что отражает аккрецию газа на окрестность магнитного полюса БК.

4.2. Топология магнитного поля

Восстановление конфигурации магнитного поля БК выполнялось в приближении смещенного диполя. Данная модель определяется следующим набором параметров: i — наклонение оси вращения БК к лучу зрения, β — наклонение оси диполя по отношению к оси вращения, ψ — долгота магнитного полюса (отсчитывается от направления на донор), B_0 — индукция магнитного поля на магнитном полюсе, a — смещение центра магнитного диполя относительно центра БК (в единицах R_{wd}). Поверхность БК разбивается на n малых площадок, которым присваивается значение локального магнитного поля:

$$B = \frac{B_0}{2} \left(\frac{1-a}{r} \right)^3 (3 \cos^2 \theta + 1)^{1/2}, \quad (1)$$

где $r = \sqrt{1 + a^2 - 2a \cos \theta}$ — расстояние от центра площадки до центра диполя (в единицах R_{wd}), θ — полярный угол площадки.

Наблюдаемое значение магнитного поля \bar{B} на некоторую фазу вращения φ находится интегрированием локального магнитного поля по диску БК:

$$\bar{B}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n B_i S_i L_i(\varphi) \cos \gamma_i(\varphi)}{\sum_{i=1}^n S_i L_i(\varphi) \cos \gamma_i(\varphi)}, \quad (2)$$

где индекс i обозначает номер площадки, γ_i — угол между нормалью площадки и лучом зрения на фазу φ , S_i — площадь сегмента ($S_i = 0$, если $\cos \gamma_i < 0$), B_i — значение локального магнитного поля, $L_i = 1 - c(1 - \cos \gamma_i)$ — линейная функция потемнения диска к краю. Параметр потемнения

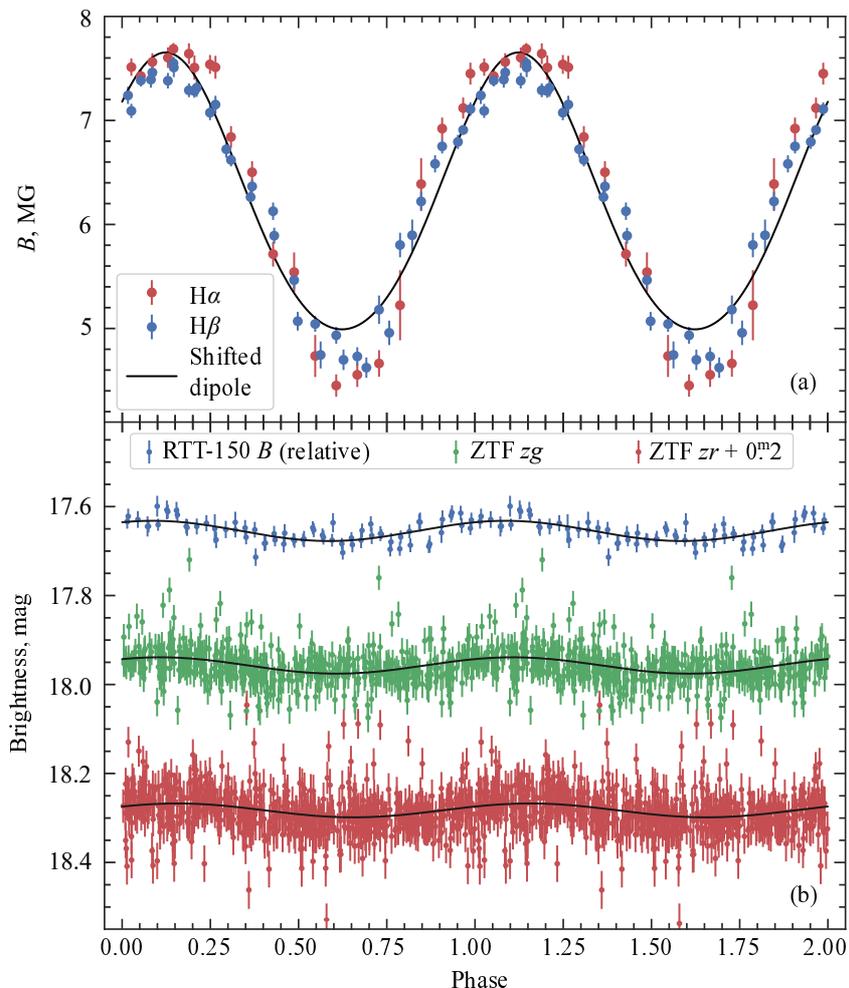


Рис. 5. Панель (a): кривая изменения среднего магнитного поля V379 Vir, полученная по зеемановскому расщеплению линий $H\alpha$ и $H\beta$, на которую наложена модель смещенного диполя. Панель (b): кривые блеска V379 Vir из наблюдений ZTF и RTT-150.

был принят равным $c = 0.38$, что соответствует атмосфере БК с $T_{\text{eff}} = 11\,000$ К и $\log g = 8.0$ и длине волны примерно 470 нм (Gianninas et al., 2013). Подгонка модельной магнитной кривой под наблюдаемую проводилась методом наименьших квадратов с использованием алгоритма оптимизации Нелдера—Мида.

На рис. 6 представлена карта распределения логарифма приведенного хи-квадрат в плоскости $i-a$. Мы варьировали угол i в пределах от 50° до 80° . Нижняя граница наклонения i получена из предположения формирования эмиссии $H\alpha$ на поверхности донора, верхняя — из отсутствия затмения БК. Для каждой пары (i, a) находилась ориентация магнитного диполя (углы β, ψ) и индукция магнитного поля B_0 ; ее изолинии также нанесены на карту $\log \chi^2$. Из рисунка видно, что для удовлетворительного описания магнитной кривой требуются большие смещения магнитного диполя, при которых магнитное поле на полюсе B_0 достигает

значений нескольких десятков мегагаусс. Однако такие высокие значения B_0 являются сомнительными ввиду малой индукции магнитного поля в аккреционном пятне ($B_{\text{spot}} \approx 6-7$ МГс, Schmidt et al. 2005; Suslikov et al. 2025), располагающемся у магнитного полюса.

На рис. 5 показано наилучшее представление магнитной кривой при наклонении $i = 60^\circ$ и индукции магнитного поля на полюсе $B_0 = 13$ МГс $\approx 2B_{\text{spot}}$ ($a = 0.17$). Ориентация магнитного диполя при этом определена углами $\beta = 23^\circ 8'$, $\psi = 45^\circ 9'$. Можно видеть, что модель смещенного диполя недостаточно хорошо описывает минимум в магнитной кривой. Геометрическая модель системы, полученная при указанной ориентации диполя и параметрах компонент из работы Suslikov et al. (2025), представлена на рис. 7.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами выполнен анализ фазово-разрешенной спектроскопии магнитного период-баунсера

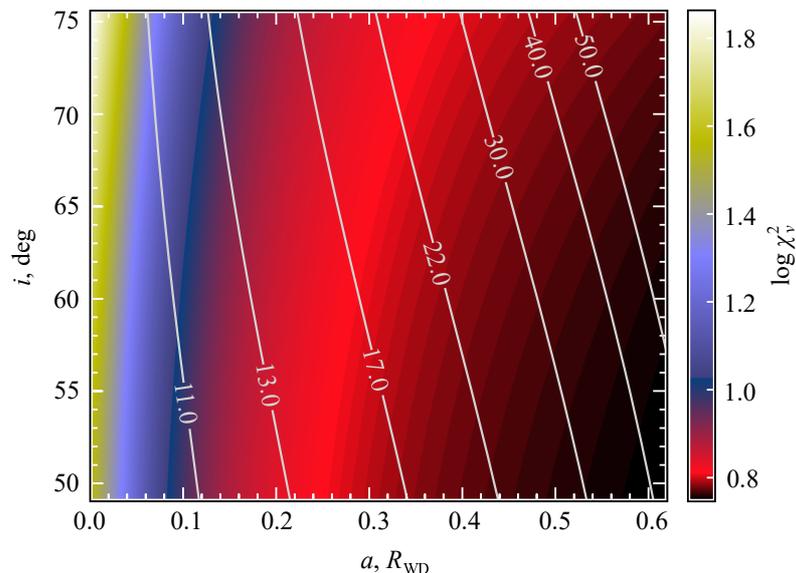


Рис. 6. Карта распределения приведенного логарифма хи-квадрат χ_v^2 в плоскости « i – a ». На карту нанесены изолинии индукции магнитного поля на магнитном полюсе B_0 .

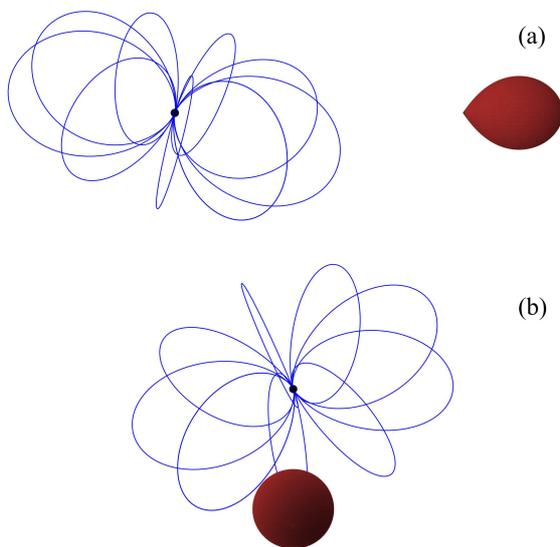


Рис. 7. Конфигурация магнитного поля БК относительно донора в модели V379 Vir. Показан вид системы в орбитальных фазах $\varphi = 0.25$ (а) и $\varphi = 0$ (б).

V379 Vir. На основе анализа динамических спектров и доплеровской томографии в линии $H\alpha$ показано, что, вероятнее всего, большая часть эмиссионного потока образуется в аккреционной струе, а не на поверхности донора. Впервые для V379 Vir получена магнитная кривая, показывающая вращательную переменность наблюдаемого магнитного поля в пределах 4.5–7.5 МГц. Моделирование магнитной кривой V379 Vir указывает на сложное распределение магнитного поля по поверхности БК, которое отличается от дипольного.

В целях подтверждения гипотезы формирования эмиссии $H\alpha$ требуется фазово-разрешенная спектроскопия с большим спектральным разрешением и высоким S/N . Определение природы линии $H\alpha$ крайне важно для определения масс компонентов магнитных период-баунсеров из-за слабости вторичного компонента и имеющихся трудностей в моделировании излучения магнитных БК. V379 Vir является весьма интересной системой для изучения особенностей топологии магнитного поля БК, входящих в состав тесных двойных систем. Необходимы дальнейшие исследования этого объекта на основе спектрополяриметрических наблюдений, позволяющих выполнить доплер–зеemanовское картирование БК.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31** (3), 194 (2005). DOI:10.1134/1.1883351

2. M. Cropper, *Space Sci. Rev.* **54** (3-4), 195 (1990). DOI:10.1007/BF00177799
3. J. H. Debes, M. López-Morales, A. Z. Bonanos, and A. J. Weinberger, *Astrophys. J.* **647** (2), L147 (2006). DOI:10.1086/507486
4. P. P. Eggleton, *Astrophys. J.* **268**, 368 (1983). DOI:10.1086/160960
5. J. Farihi, M. R. Burleigh, and D. W. Hoard, *Astrophys. J.* **674** (1), 421 (2008). DOI:10.1086/524933
6. A. Gianninas, B. D. Strickland, M. Kilic, and P. Bergeron, *Astrophys. J.* **766** (1), article id. 3 (2013). DOI:10.1088/0004-637X/766/1/3
7. C. Hellier, *Cataclysmic Variable Stars* (Springer, London, 2001).
8. K. Horne, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **98**, 609 (1986). DOI:10.1086/131801
9. S. B. Howell, F. M. Walter, T. E. Harrison, et al., *Astrophys. J.* **652** (1), 709 (2006). DOI:10.1086/507603
10. C. Knigge, I. Baraffe, and J. Patterson, *Astrophys. J. Suppl.* **194** (2), article id. 28 (2011). DOI:10.1088/0067-0049/194/2/28
11. V. Y. Kochkina, A. I. Kolbin, N. V. Borisov, and I. F. Bikmaev, *Astronomy Letters* **49** (11), 706 (2023). DOI:10.1134/S1063773723110051
12. A. I. Kolbin, N. V. Borisov, A. N. Burenkov, et al., *Astronomy Letters* **49** (3), 129 (2023). DOI:10.1134/S1063773723030040
13. A. I. Kolbin, N. V. Borisov, N. A. Serebriakova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **511** (1), 20 (2022). DOI:10.1093/mnras/stab3676
14. E. J. Kotze, S. B. Potter, and V. A. McBride, *Astron. and Astrophys.* **579**, id. A77 (2015). DOI:10.1051/0004-6361/201526381
15. E. J. Kotze, S. B. Potter, and V. A. McBride, *Astron. and Astrophys.* **595**, id. A47 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201629120
16. Y. Liu, H.-C. Hwang, N. L. Zakamska, and J. R. Thorstensen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **522** (2), 2719 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1156
17. T. R. Marsh and A. D. Schwope, “*Doppler Tomography*” in *Astronomy at High Angular Resolution, Astrophysics and Space Science Library, vol. 439*, Ed. by H. M. J. Boffin, G. Hussain, J.-P. Berger, and L. Schmidtobreick (Springer International Publishing, Switzerland, 2016), p. 195. DOI:10.1007/978-3-319-39739-9_11
18. C. Schimeczek and G. Wunner, *Astrophys. J. Suppl.* **212** (2), article id. 26 (2014). DOI:10.1088/0067-0049/212/2/26
19. G. D. Schmidt, P. Szkody, N. M. Silvestri, et al., *Astrophys. J.* **630** (2), L173 (2005). DOI:10.1086/491702
20. A. D. Schwope, K.-H. Mantel, and K. Horne, *Astron. and Astrophys.* **319**, 894 (1997). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/9701094
21. D. Steeghs, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **344** (2), 448 (2003). DOI:10.1046/j.1365-8711.2003.06917.x
22. B. Stelzer, D. de Martino, S. L. Casewell, et al., *Astron. and Astrophys.* **598**, id. L6 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201630038
23. M. V. Suslikov, A. I. Kolbin, and N. V. Borisov, *Astronomy Letters* **51** (2), 79 (2025). DOI:10.1134/S1063773725700239
24. P. G. van Dokkum, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **113** (789), 1420 (2001). DOI:10.1086/323894
25. B. Warner, *Cataclysmic variable stars* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).

Phase-Resolved Spectroscopy of the Polar V379 Vir with a Brown Dwarf

M. V. Suslikov^{1,2}, A. I. Kolbin², and N. V. Borisov²

¹Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

²Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

The polar V379 Vir is a well-known magnetic cataclysmic variable with a brown dwarf donor. Despite numerous studies of this system across various spectral ranges, a detailed investigation of the orbital variability of its optical spectra has not been carried out. In this work, we present an analysis of spectroscopic observations of V379 Vir obtained with the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences. The orbital variability of the H α emission indicates that the line is most likely formed in the accretion stream near the Lagrangian point L_1 , rather than on the donor’s surface as previously assumed. The analysis of the rotational variability of the Zeeman splitting of hydrogen lines reveals a complex magnetic field topology of the white dwarf, which differs from a simple dipole configuration.

Keywords: *stars: novae, cataclysmic variables; stars: individual: V379 Vir (SDSS J121209.31+013627.7); methods: observational; techniques: photometric; techniques: spectroscopic*