Исследование слабоаккрецирующего поляра V379 Vir

М. В. Сусликов⁽¹⁾, А. И. Колбин^(1, 2)

(1) - Казанский (Приволжский) Федеральный Университет







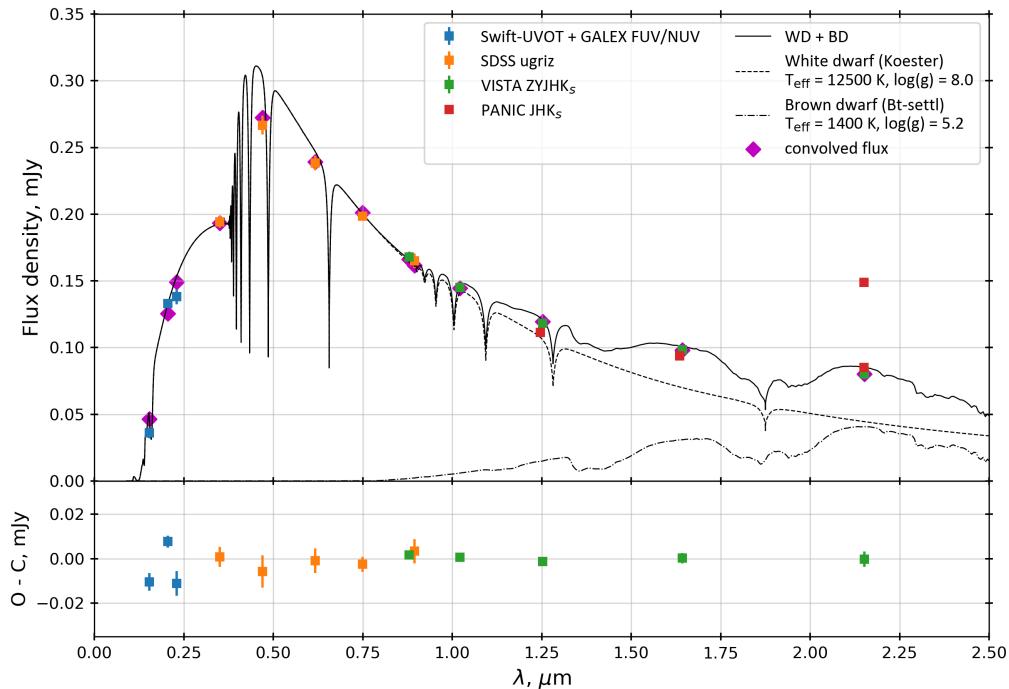
E-mail: mvsuslikov@outlook.com

Аннотация. Поляры (переменные типа АМ Нег) представляют собой тесные двойные системы, состоящие из белого карлика с сильным магнитным полем (В ~ 10⁷ – 10⁸ МГс) и холодного карлика главной последовательности, заполняющего свою полость Роша. Благодаря приливному взаимодействию, вещество вторичного компонента аккрецирует на белый карлик, образуя на его поверхности горячую (Т ~ 10 кэВ) ударную область, являющуюся источником рентгеновского тормозного излучения и циклотронного излучения в видимом или ИК диапазоне. В данной работе выполнено комплексное исследование магнитной катаклизмической переменной V379 Vir в низком режиме аккреции. На основе наблюдений наземных и космических обсерваторий было получено спектральное распределение энергии с учетом межзвездного поглощения. Его моделирование совместно с полуамплитудой лучевых скоростей вторичного компонента определить параметры системы. На основе зеемановского расщепления спектральной линии Н_в определены параметры ориентации магнитного диполя белого калика. Также выполнено моделирование ИК кривых основе модели вертикально-структурированного пятна в бомбардировочном приближении.

Спектральное распределение энергии

Определение параметров белого карлика проводилось путем моделирования спектрального распределения энергии V379 Vir в оптическом диапазоне спектра. Фотометрические наблюдения V379 Vir выполнялись на различных наземных и космических обсерваториях в широком диапазоне длин волн. Наблюдения в видимом и ближнем ИК диапазонах были получены в рамках обзора SDSS, а также на телескопе VISTA. Потоки в ультрафиолетовом диапазоне были заимствованы из архивов наблюдений космических телескопов Swift и GALEX. Коррекция полученного распределения энергии V379 Vir за межзвездное поглощение проводилась на основе колонковой плотности нейтрального водорода $N_{HI} = 2.3 \times 10^{20}$ атомов см⁻², полученной Стелзер и др. (2017) путем моделирования рентгеновских наблюдений XMM-Newton.

Моделирование спектрального распределения энергии V379 Vir проводилось суммой спектров компонентов системы. Потоки от белого карлика находились путем интерполяции сетки теоретических спектров, рассчитанных на плоскопараллельных ЛТР-моделях атмосфер Кестера (2010). Учет вторичного компонента проводился путем добавления к спектру белого карлика спектра коричневого карлика, полученного из теоретических моделей BTSettl08 (Аллард и др., 2008).



Распределение спектральной плотности потока V379 Vir

Для описания наблюдаемого спектрального распределения плотности потока использовался метод наименьших квадратов, заключающийся в минимизации функции

$$\chi^{2}(\theta, T_{eff}) = \sum_{k}^{l} \left(\frac{\theta^{2} f_{k}(T_{eff}) - f_{k}^{obs}}{\sigma_{k}} \right)^{2},$$

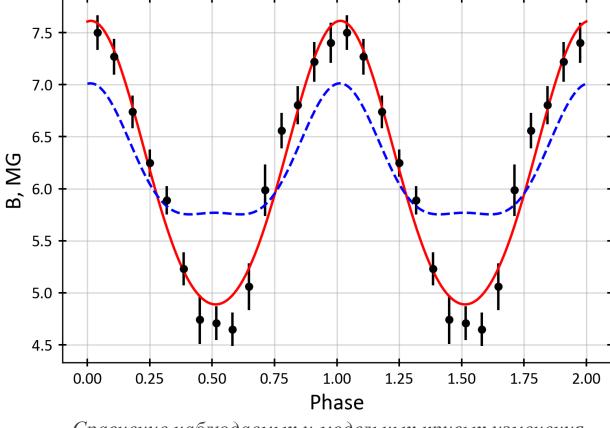
где θ — угловой радиус источника, f_k и f_k^{obs} — теоретический и наблюдаемый поток соответственно, σ_k — ошибки фотометрии, а индекс k соответствует фотометрической полосе. В результате была получена оценка углового радиуса и температуры белого карлика $T_{eff}^1=12500~{\rm K}$ и коричневого карлика $T_{eff}^2=1400~{\rm K}$.

По известному параллаксу GAIA и угловому размеру главного компонента были определены его радиус $R_1=0.120\pm0.0001~R_{\odot}$ и масса $M_1=0.628\pm0.009~M_{\odot}$. Используя полуамплитуду кривой лучевых скоростей области переизлучения на вторичном компоненте (Шмидт и др., 2005), а также предположив заполнение донором своей полости Роша, нами получена оценка наклонения орбитальной плоскости $i=50\pm5^{\circ}$, а также масса $M_2=0.027~M_{\odot}$ и радиус $R_2=0.091~R_{\odot}$ вторичного компонента и соответственно.

Моделирование магнитной кривой

Спектральные наблюдения V379 Vir были выполнены на телескопе БТА САО РАН с использованием фокального редуктора SCORPIO-1. Был получен набор из 15 длиннощелевых спектров в диапазоне 3900-5700 Å , покрывающих полный орбитальный период. Обработка выполнялась стандартными методами при помощи программного пакета IRAF. В полученных спектрах наблюдается синий наклон уровня континуума, а также присутствуют сильные широкие линии поглощения бальмеровской серии водорода H_{β} (4861Å), H_{γ} (4341Å) и H_{δ} (4102Å). Наиболее примечательным является наличие расщепления линии H_{β} на 3 компоненты вследствие эффекта Земана и ее смещение в коротковолновую область.

Измерив величину расщепления между компонентами линии Н_в для каждого спектра, удалось среднее значение о определить магнитного поля на каждую ≥ периода системы и, используя эфемериды (Дебес и др., 2006), получить магнитную кривую V379 Vir. Максимальная величина магнитного ПОЛЯ составляет 7.5 МГс, при этом амплитуда вариации ~ 3 МГс.



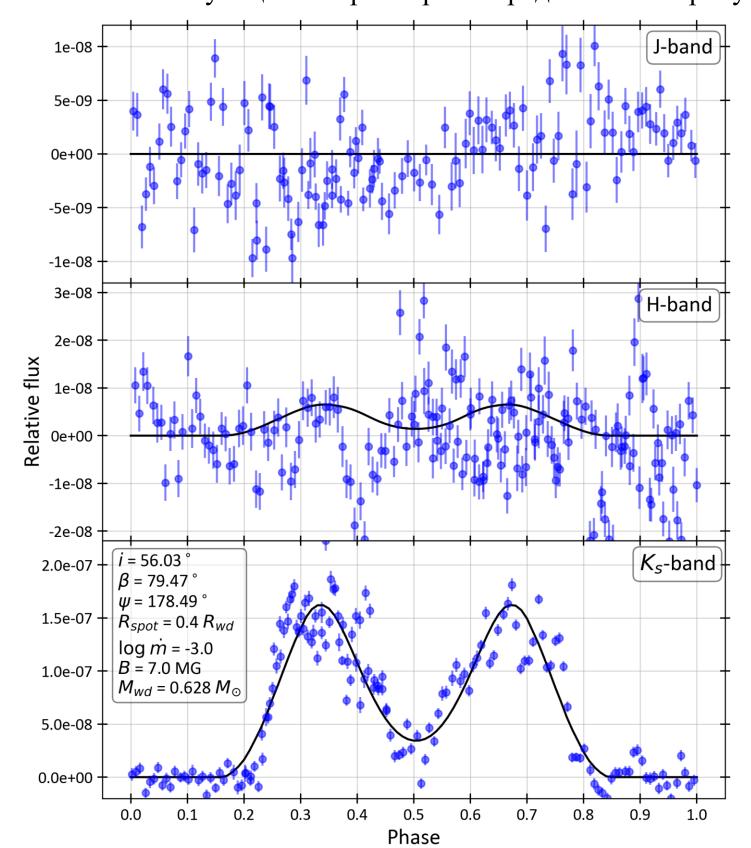
Сравнение наблюдаемых и модельных кривых изменения магнитного поля V379 Vir

С целью определения ориентации магнитного диполя белого карлика нами было выполнено моделирование магнитной кривой в рамках моделей белого карлика с центральным и смещенным диполем. В качестве метода оценки параметров регрессионной модели использовался метод наименьших квадратов совместно с алгоритмом минимизации Нелдера-Мида. Модель центрального диполя (синяя пунктирная кривая) не может дать точного описания наблюдений, в то время как модель смещенного диполя (красная сплошная кривая) качественно описывает наблюдения.

Моделирование ИК кривых блеска

В работе Дебес и др. (2006) были получены J, H, K_s кривые блеска V379 Vir. В частности, K_s кривая блеска показала вариации амплитуды с периодом ~ 88 мин, что было связано с циклотронным излучением горячего пятна.

Нами было выполнено моделирование инфракрасных кривых блеска на основе бомбардировочном вертикально-структурированного пятна модели приближении. Для расчета вертикальной температурной структуры аккреционного пятна магнитного белого карлика использовался метод, предложенный Вельк и Бауэрманн (1993). В случае низкого режима аккреции, реализуемого в V379 Vir (M $\sim 10^{-14}~M_{\odot}$ /год), профиль температуры и колонковой плотности выражается через темп аккреции \dot{m} , магнитное поле B и массу белого карлика M_1 . Расчет спектра излучения области аккреции основан на решении уравнения переноса. При этом вычисляются коэффициенты поглощения циклотронного излучения согласно методике, предложенной Чанмугам и Далк (1981). На поверхность белого карлика вблизи магнитного полюса накладывается модель пятна. На каждую фазу периода вычисляется интегральный спектр, который сворачивается с кривыми пропускания инфракрасных фильтров. Полученный результат моделирования кривых блеска с соответствующими параметрами представлен на рисунке снизу.



Сравнение наблюдаемых и модельных кривых блеска V379 Vir в J-, H-, K_s - полосах в рамках модели белого карлика с вертикально-структурированным горячим пятном