

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи *УДК 524.7-77*

Габдеев Максим Маратович

**Фотометрические, спектральные и поляриметрические  
исследования магнитных катаклизмических переменных**

01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,  
и.о. заведующего Лаборатории  
обеспечения наблюдений  
**Борисов Николай Владимирович**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
**Ихсанов Назар Робертович,**  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Главная (Пулковская)  
астрономическая обсерватория  
Российской академии наук

кандидат физико-математических наук,  
**Буренин Родион Анатольевич,**  
Институт космических исследований  
Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное  
учреждение высшего образования  
Казанский (Приволжский) федеральный  
университет, г. Казань.

Защита состоится 21 апреля 2016 г. в 9:00 на заседании диссертационного совета Д 002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167, Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский р-н, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 002.203.01, к.ф.-м.н.

Шолухова О. Н.

## Общая характеристика работы

Поляры относятся к группе магнитных катаклизмических переменных. Это тесные двойные системы, находящиеся на поздней стадии эволюции. Они состоят из сильно замагниченного белого карлика ( $B > 10^6$  Гс) и красного карлика позднего спектрального класса, заполняющего свою полость Роша. Вещество красного карлика покидает поверхность, через точку Лагранжа L1. Магнитосфера белого карлика сравнима с размерами системы, она управляет веществом, реализуется канализированный режим аккреции. Газ по магнитно-силовым линиям аккрецирует на один или оба магнитных полюса белого карлика. Вблизи поверхности белого карлика формируется аккреционная колонна, а в её основании горячее пятно. Аккреционная колонна является основным источником излучения полярных в оптическом диапазоне, несмотря на небольшие размеры ( $h_{column} \sim 0.05 R_{wd}$ ). Горячее пятно излучает в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазоне, нагревая газ на поверхности красного карлика и в струе протекающего вещества. Таким образом, компоненты системы одновременно испытывают гравитационное, газодинамическое и электромагнитное взаимодействия. Излучение полярных – сильно переменное и регистрируется в широком диапазоне электромагнитного спектра: от рентгеновского (0.05-30 кэВ) до радио ( $\sim 0.1$  метра). Блеск полярных изменяется на шкале времени от секунд до нескольких лет. Быстрое (1-500 секунд) квазипериодическое изменение блеска системы, происходит вследствие неравномерной плотности аккреционного потока [1]. Орбитальные периоды всех катаклизмических переменных лежат в диапазоне от 70-80 минут до 8 часов. Периоды систем лежащие в промежутке от 2 до 3 часов практически не встречаются, потому что реализуются условия в которых останавливается аккреция вещества [2]. Интенсивность потока излучения в континууме зависит только от положения и ориентации области аккреции, которые меняются с орбитальным периодом. Вклад белого и красного карликов наблюдается только в низких состояниях, когда темп аккреции вещества значительно уменьшается из-за временной остановки заполнения полости Роша [3]. Переход в высокие и низкие состояния у полярных происходит спонтанно на временной шкале месяцы-годы, амплитуда в видимом диапазоне может достигать до  $3^m$  [4]. При этом кривые блеска могут меняться как по амплитуде, так и по форме (см., например, [5]).

Основной особенностью полярных является наличие в оптическом диапазоне сильной переменной линейной и круговой поляризации излучения. Это обусловлено работой циклотронного механизма. При определенных условиях в видимом спектре объекта регистрируются циклотронные гармоники. Оптический спектр полярных содержит интенсивные линии водорода серии Бальмера,

нейтрального и ионизованного гелия. Линия  $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$  в полярах сравнима по интенсивности с линией водорода  $H_{\beta}$  [6, 7]. Профили эмиссионных линий сильно переменны и отражают многокомпонентность структуры области их формирования. На данный момент известно 136 полярных, представленных в каталоге Риттера и Колба [8]. Они все обладают характерными особенностями, которые перечислены выше, но при этом каждый представитель этой группы индивидуален в своих наблюдательных проявлениях [9].

### **Актуальность задачи**

Как отмечено выше, белый карлик в полярах сильно замагничен. Напряженность магнитного поля достигает значений порядка  $10^7 - 10^8$  Гс и определяет многие наблюдательные проявления этих объектов. Это даёт возможность исследовать излучение плазмы в сильных магнитных полях, которые невозможно воспроизвести в земных лабораториях. Важным аспектом таких исследований является определение фундаментальных параметров компонентов системы и аккреционной структуры. Вторичный компонент системы представляет большой интерес для проверки наших представлений о внутреннем строении и эволюции звезд Главной Последовательности, в случае когда масса звезды не сохраняется, а её радиус ограничен критической полостью Роша.

### **Цели и задачи исследования**

Целью работы является определение фундаментальных параметров, таких как орбитальный период, угол наклона орбиты к лучу зрения, массы белого и красного карликов, большая полуось орбиты, напряженность магнитного поля для выборки новых полярных. А также исследовать аккреционную структуру, анализируя характеристики областей формирования эмиссионных линий. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- Провести фотометрические, спектральные и поляриметрические наблюдения кандидатов в поляры на телескопах БТА и Цейсс-1000 САО РАН и обработать их результаты. Уточнить класс объектов по полученным наблюдениям.
- На основе анализа спектральных и фотометрических данных определить фундаментальные параметры исследуемых систем. Построить доплеровские карты областей излучения эмиссионных линий для исследуемых объектов при помощи программы Спруита Дорнар [10].
- Выделить вклад циклотронного излучения объекта CRTS CSS081231 J071126+440405, провести теоретическое моделирование для дальнейшего определения напряженности магнитного поля белого карлика.

- Исследовать возможность моделирования эффектов переизлучения по двухпиковым эмиссионным линиям в объектах CRTS CSS081231 J071126+440405 и BS Tri.

### **Научная и методическая новизна**

- Впервые, на основе поляриметрических наблюдений, на телескопе БТА было открыто два новых поляра, для четырех объектов была подтверждена их классификация как поляров.
- В работе проводился комплексный анализ фотометрических, спектральных и поляриметрических наблюдений объектов, полученных на телескопах САО РАН.
- Определены физические параметры компонент в трех исследованных системах. Для двух систем построены теоретические спектры эффектов переизлучения на поверхности вторичной компоненты, что позволило определить параметры компонент системы с большей точностью.
- Впервые наблюдался переход спектра объекта CRTS CSS081231 J071126+440405 в новое состояние на шкале времени сутки. Произошло изменение наклона континуума и форма профилей эмиссионных линий. Сделан вывод, что произошли локальные изменения структуры аккреционного потока.

### **Научная и практическая значимость**

- По фотометрическим данным, полученными в период с 2010 по 2015 гг., были найдены или уточнены орбитальные периоды 4 систем. Фотометрические наблюдения затмения объекта CRTS CSS081231 J071126+440405 на телескопе БТА позволили определить его длительность ( $\sim 450$  секунд) и получить границы возможных значений угла наклона системы.
- Посредством анализа спектральных данных определены физические параметры трех исследованных систем. Для систем CRTS CSS081231 J071126+440405 и BS Tri был выделен вклад излучения эмиссионных линий, формирующихся на поверхности вторичной компоненты. Для определения скорости орбитального движения вторичного компонента использованы теоретические модели спектров с эффектом переизлучения.
- Показана высокая эффективность метода поляриметрических наблюдений, реализованного на телескопе БТА, при поиске круговой поляризации излучения у объектов до  $20^m$ . Все исследуемые объекты были впервые классифицированы как поляры по поляриметрическим данным.

- Создана программа, для построения модельных спектров циклотронных гармоник. Путем сравнения модельных и наблюдаемых спектров циклотронных гармоник найдены параметры аккреционной колонны объекта CRTS CSS081231 J071126+440405.
- Получены ряды спектральных данных 3 объектов, по которым были построены доплеровские карты. Основными областями формирования эмиссионных линий являются струя аккрецирующего вещества и область переизлучения на поверхности красного карлика. Показано, что дисковая аккреция в данных системах отсутствует.

### **Основные результаты, выносимые на защиту**

1. Результаты поляриметрических наблюдений на телескопе БТА САО РАН, на основании которых шесть катаклизмических переменных были классифицированы как поляры. Показано, что их излучение обладает сильной круговой поляризацией (до 30%). У 4 объектов из выборки зарегистрирована смена знака круговой поляризации на протяжении орбитального периода, свидетельствующая об аккреции на оба магнитных полюса белого карлика.
2. Результаты фотометрических наблюдений, определение периодов орбитального движения 4 систем, обнаружение долговременной переменности объекта IPHAS J052832.69+283837.6.
3. Результаты спектральных наблюдений, определение фундаментальных параметров нескольких систем, а также их доплеровские карты, построенные по основным эмиссионным линиям.
4. Результаты сравнительного анализа линий и теоретических моделей циклотронного излучения, обнаруженных в спектрах объекта CRTS CSS081231 J071126+440405. В ходе которого были получены параметры аккреционной колонны:  $B = 31 - 34$  МГц,  $T_e = 10 - 12$  кэВ,  $\Theta = 80 - 90^\circ$  и  $\Lambda = 10^5$ .

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертации докладывались на следующих российских и международных конференциях и семинарах:

1. Международная конференция “The Present and Future of Small and Medium Size Telescopes”, пос. Нижний Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 19-22 октября 2015 г.
2. Международная конференция “Astronomical polarimetry”, Grenoble, France, 26-30 мая 2014 г.

3. Международная конференция “Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes” Tatranská Lomnica, Slovakia, 23-26 сентября, 2013 г.
4. Всероссийская молодежная астрономическая конференция “Наблюдаемые проявления эволюции звезд”, пос. Нижний Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 15 - 19 октября 2012 г.
5. Международная конференция “Звёздные атмосферы: фундаментальные параметры звезд, химический состав и магнитные поля”, пос. Научный, Крымская астрофизическая обсерватория, 10-14 июня 2012 г.
6. Международная молодежная конференция “19th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics”, Киев, Киевский НГУ, 25-30 апреля 2012 г.
7. Ежегодная конкурс-конференции САО РАН посвященная дню науки, 2014-2015 гг.
8. Общий астрофизический семинар САО РАН
9. Астрофизический семинар Кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета

### **Публикации**

Материалы диссертации опубликованы в шести рецензируемых журналах (рекомендованных ВАК и индексируемых WoS). Основные результаты изложены в следующих статьях:

1. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimanskiy, N. A. Katysheva, A. I. Kolbin, S. Yu. Shugarov, V. P. Goranskiy. “Photometric and Spectral Studies of the Eclipsing Polar CRTS CSS081231 J071126+440405”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 71, Issue 1, pp. 101-113, 2016
2. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. L. Afanasiev. “Photopolarimetric Observations of the Sample of Polar Candidates”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 71, Issue 1, pp. 95-100, 2016
3. M. M. Gabdeev. “Photometric Monitoring of Polar Candidates”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 70, Issue 4, pp. 460-465, 2015
4. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, N. A. Katysheva, S. Yu. Shugarov. “Spectroscopic Study of the Polar BS Tri”, *Astronomy Letters*, Volume 41, Issue 11, pp. 646–659, 2015
5. V. L. Afanasiev, N. V. Borisov, M. M. Gabdeev. “Polarimetric Observation of the New Polar USNO-A2.0 0825-18396733”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 70, Issue 3, pp. 328-332, 2015

6. M. M. Gabdeev, N. V. Borisov, V. V. Shimanskiy, O. I. Spiridonova. “Spectral and Photometric Studies of the Polar USNO-A2.0 0825-18396733”, Astronomy Reports, Volume 59, Issue 3, pp. 213-220, 2015

### **Личный вклад автора**

Автор принимал участие в постановке целей исследования и получении наблюдательных данных. Обработка наблюдательных данных полностью проводилась автором работы. Анализ и интерпретация результатов, подготовка текстов статей выполнялись совместно с соавторами.

### **Содержание и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы. Объем работы — 104 страницы печатного текста, включая 46 рисунков и 5 таблиц.

Во **Введении** дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность исследования, приводятся цели и задачи, формулируется научная новизна и научная и практическая ценность; формулируются результаты, выносимые на защиту, приводится список конференций и работ, где были представлены результаты диссертации, описывается степень личного вклада автора, краткое описывается содержание диссертационной работы.

В **Главе 1** приводится история открытия полярных звезд, описываются основные наблюдательные свойства полярных звезд во всем диапазоне длин волн (**Раздел 1.1**), с более детальным обсуждением их поведения в видимом диапазоне электромагнитного спектра. **Раздел 1.2** посвящен историческим и современным представлениям о модели аккреции вещества в полярных звездах. Перечисляются основные каталоги и обзоры, которые способствуют обнаружению новых катаклизмических переменных (**Раздел 1.3**).

**Глава 2** посвящена описанию метода поляриметрических наблюдений на телескопе БТА САО РАН, их обработке и последующему анализу. В **Разделе 2.1** описывается методика получения поляриметрических данных на приборе SCORPIO-2 [11]. Представлены формулы для определения круговой поляризации объекта. Также обсуждается метод контроля за точностью получаемых измерений. **Раздел 2.2** главы посвящен результатам исследования 6 объектов. Представлены первые поляриметрические наблюдения шести катаклизмических переменных: MT Dra, 1RXS J184542.4+483134, USNO-A2.0 0825-8396733, CRTS CSS081231 J071126+440405, IPHAS J052832.69+283837.6 и CRTS CSS130604 215427+155714. Наблюдения в полосе V показали, что все объекты обладают значительной степенью круговой поляризации (до 30%). У четырех объектов



меняется знак поляризации в течение орбитального периода, что говорит об активности обоих магнитных полюсов белого карлика. Поляризация излучения CRTS CSS130604 215427+155714 не меняет знак в течении орбитального периода, оставаясь отрицательной. У USNO-A2.0 0825-8396733 не зафиксирована смена знака, в связи с отсутствием данных на фазах, близких к минимуму блеска. Системы V834 Cen [12] и RX J1313.32-3259 ([13]) имеют схожие по форме с USNO-A2.0 0825-8396733 кривые блеска и круговой поляризации. У обеих систем на фазах минимума блеска происходит ослабление круговой поляризации. Авторы предполагают, что происходит затмение области циклотронного излучения аккреционной структурой. При этом у RX J1313.32-3259 наблюдается изменение знака круговой поляризации, но только в синем диапазоне и в белом свете. Таким образом, остается открытым вопрос о смене знака круговой поляризации в момент минимума блеска USNO-A2.0 0825-8396733. Объект 1RXS J184542.4+483134 наблюдался в двух состояниях блеска в 2011 и в 2012 гг. Ослабление блеска системы сопровождалось увеличением вклада циклотронного излучения в общий блеск системы и, следовательно, амплитуды изменения круговой поляризации. В заключении главы делается вывод о принадлежности исследованных систем к классу полярных звезд.

В **Главе 3** представлены фотометрические исследования 4 полярных звезд по данным полученным на телескопе Цейсс-1000 САО РАН. **Раздел 3.1** содержит информацию о телескопе Цейсс-1000, штатном фотометре и проведенных наблюдениях. Показаны изображения площадок с отмеченными объектом исследования и опорной звездой. Дана таблица с информацией об опорных звездах для каждого объекта и журнал наблюдений с 2010 по 2015 гг. **Раздел 3.2** посвящен исследованию объектов: USNO-A2.0 0825-8396733, 1RXS J073346.0+261933, IPHAS J052832.69+283837.6 и CRTS CSS130604 215427+155714. Для каждого из них проводился анализ временных рядов звездных величин методом Лафлера-Кинмана [14] с целью определения орбитального периода системы и построения эфемериды объекта. Все системы обладают сильной орбитальной переменностью блеска с амплитудой выше  $1^m$ . Многоцветная фотометрия полярной звезды USNO-A2.0 0825-8396733, показала, что орбитальные кривые блеска имеют одинаковую форму в полосах  $B, V, R_c$ . Система имеет красный цвет  $(V - R_c) = (B - R_c) = 1^m$ . Измеренные расстояния до катаклизмических переменных редко превышают 1кпк [15], и покраснение не объясняется межзвездным поглощением. По всей видимости, на полосе  $R_c$  приходится максимум циклотронного излучения в видимом диапазоне, наличие которого косвенно подтверждается сильной круговой поляризацией излучения объекта. У 1RXS J073346.0+261933 и IPHAS J052832.69+283837.6 наблюдалась долговременная переменность блеска. Если первый объект не показал изменений форм и амплитуды кривых блеска с из-

менением среднего блеска системы, то у второго не только изменились формы кривых блеска, появился вторичный максимум и увеличилась амплитуда переменности, но и поменялся цвет системы. В 2015 г. с увеличением блеска объекта, показатель цвета ( $B - R_c$ ) уменьшался. Провалы, обнаруженные на кривых блеска 1RXS J073346.0+261933 и IPHAS J052832.69+283837.6, часто связаны с затмением аккреционной структуры более холодной область струи перетекающего вещества и повсеместно встречаются в кривых блеска полярков. Изменение блеска CRTS CSS130604 215427+155714 с орбитальным периодом происходит квазисинусоидально и не имеет выраженных особенностей. За полгода фотометрических наблюдений объект не изменил состояние блеска.

В **Главе 4**, посвященной спектральным исследованиям, содержатся разделы о наблюдениях и обработке трех систем: USNO-A2.0 0825-8396733, BS Tri и CRTS CSS081231 J071126+440405. В **Разделе 4.1** описывается режим спектральных наблюдений с длинной щелью приборов SCORPIO [16] и SCORPIO-2 [11]. Результаты анализа спектральных данных полярка USNO-A2.0 0825-8396733 представлены в **Разделе 4.2**. В спектрах объекта наблюдаются однопиковые эмиссионные линии водорода, гелия и высокоионизованных тяжелых элементов, характерные для излучения полярков с рентгеновским облучением вторичного компонента. Профили эмиссионных линий состоят из нескольких компонент. Для построения кривой лучевых скоростей была выделена узкая компонента с высокой амплитудой смещения пика в шкале длин волн. На основе анализа лучевых скоростей и предшествовавших фотометрических данных были получены оценки массы белого карлика  $M_1 \sim 0.75M_\odot$ , красного карлика  $M_2 \sim 0.19M_\odot$  и угла наклона системы  $i \sim 80^\circ$ . Построенные карты доплеровской томографии и кривые лучевых скоростей указывают на расположение основной области излучения линий  $H_\beta$  и  $HeII \lambda 4686\text{\AA}$  на поверхности вторичного компонента. В **Разделе 4.3** представлены спектральные наблюдения катаклизмической переменной BS Tri. Они показали, что спектры имеют плоский континуум с наложенными на него сильными эмиссионными линиями водорода и нейтрального гелия, боуэновской бленды и сравнимой по интенсивности с водородными линией  $HeII \lambda 4686\text{\AA}$ . Их профили имеют сложную форму и переменны в шкале фаз орбитального периода системы. Анализ формы профилей выявил наличие в ней двух компонент, имеющих различные значения лучевых скоростей и связанных с облучаемой поверхностью вторичного компонента и потоком вещества, перетекающего с него на белый карлик. Сравнение блеска системы, интенсивностей эмиссионных линий и их лучевых скоростей в 2011 и 2012 гг., показало что при неизменном блеске системы области формирования всех линий уменьшили свою скорость. При этом изменился бальмеровский декремент, со значительным ослаблением линии  $H_\alpha$ , а линии

$HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$  усилились с одновременным ослаблением линий  $HeI$ . Таким образом, баланс  $HeI/HeII$  сместился в сторону более высокой стадии ионизации. Использование спектров достаточно высокого разрешения и значительное разделение компонент линии  $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$  в интервале фаз  $\varphi = 0.2 - 0.6$  позволило нам получить набор лучевых скоростей вторичного компонента. На их основе с применением эволюционных треков звезд Главной Последовательности был найден набор динамических параметров BS Tri:  $M_1 = 0.75 \pm 0.02 M_\odot$ ,  $M_2 = 0.16 \pm 0.02 M_\odot$ ,  $R_2 = 0.18 \pm 0.02 R_\odot$ ,  $A = 0.74 \pm 0.05 R_\odot$ . Доплеровские карты, построенные по линиям  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$ ,  $HeI\ \lambda 5876\text{\AA}$ , не показывают наличия даже слабой дисковой аккреционной структуры, подтверждая принадлежность BS Tri к классу полярных звезд. Окончательное подтверждение такой классификации должно быть сделано на основе поляриметрических наблюдений объекта. Из результатов доплеровского картирования следует, что основные области образования эмиссионных линий связаны с действием эффектов переизлучения на поверхности вторичного компонента и излучения плазмы в оптически тонких частях струи аккрецируемого вещества. В обоих случаях степень поляризации излучения в линиях может быть достаточной большой, что делает перспективными спектрополяриметрические наблюдения объекта.

Итог работы по исследованию полярной звезды CRTS CSS081231 J071126+440405 представлен в **Разделе 4.4**. В спектрах объекта, типичных для катаклизмических переменных, присутствуют эмиссионные линии H $\alpha$ , HeI, HeII. Объект наблюдался в последовательные ночи 20 и 21 сентября 2001 г. Наблюдаемые изменения вида спектров и профилей эмиссионных линий говорят о том, что в эти ночи произошли изменения геометрии областей формирования эмиссионных линий и распределения энергии в оптическом спектре объекта. Анализ доплеровских карт показал, что во время наблюдений 20.09.11 эмиссионные линии формировались в основном на поверхности вторичного компонента, красного карлика, что подтверждается появлением на фазах  $\varphi = 0.34 - 0.49$  красных пиков в профилях линий. Сутками позже (21.09.11), эта область перестала доминировать, появилась другая область, расположенная на доплеровских картах вблизи  $V_x = -500$  км/сек. Вероятно, что возникновение этой дополнительной области разреженного газа ответственно за появление компонент поглощения в профилях эмиссионных линий H $\alpha$ , HeI и HeII в фазах орбитального периода  $\varphi = 0.84 - 0.95$  в ночь 21.09.11. В расчетах параметров системы использовались полуамплитуда лучевых скоростей, измеренная по линии  $H_\alpha$  и её поправка на центр массы красного карлика, рассчитанная по модельным спектрам эффектов переизлучения, а также продолжительность затмения. В итоге получены следующие параметры:  $M_1 = 0.86 \pm 0.08 M_\odot$ ,  $M_2 = 0.18 \pm 0.02 M_\odot$ ,  $q = 0.21 \pm 0.01$ ,  $R_{L2} = 0.20 \pm 0.03 R_\odot$ ,  $A = 0.8 \pm 0.03 R_\odot$ . Сравнение теоретического

спектра красного карлика со спектром, полученным в затмении, подтвердило надежность определения параметров и использованного метода. Сравнение наблюдаемых линий циклотронного излучения с теоретическими позволило оценить параметры аккрецирующей структуры вблизи поверхности белого карлика:  $B = 31 - 34$  МГц,  $T_e = 10 - 12$  кэВ,  $\theta = 80^\circ - 90^\circ$  и  $\Lambda = 10^5$ , где  $B$  – напряженность магнитного поля,  $T_e$  – температура плазмы,  $\theta$  – угол наклона магнитной оси к лучу зрения и  $\Lambda$  – безразмерный параметр, зависящий от геометрической толщины излучающей области.

**В Заключение** суммированы основные результаты работы.

**В Списке литературы** дан перечень публикаций, цитируемых и используемых в работе.

## Список литературы

1. I. R. Tuohy, K. O. Mason, G. P. Garmire, and F. K. Lamb, *Astrophys. J.* **245**, 183 (1981).
2. S. B. Howell, *Publ. Astron. Soc. Japan* **53**, 675 (2001).
3. M. Livio and J. E. Pringle, *Astrophys. J.* **427**, 956 (1994).
4. B. Kalomeni, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **422**, 1601 (2012).
5. Z. Dai, S. Qian, and L. Li, *Astrophys. J.* **774**, 153 (2013).
6. N. F. Voikhanskaya, *Soviet Astronomy Letters* **13**, 250 (1987).
7. J. Patterson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 209 (1994).
8. H. Ritter and U. Kolb, *Astron. and Astrophys.* **404**, 301 (2003).
9. B. Warner, *Cambridge Astrophysics Series* **28** (1995).
10. H. C. Spruit, *ArXiv Astrophysics e-prints* (1998).
11. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011).
12. M. Cropper, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **236**, 935 (1989).
13. K. J. van der Heyden, S. B. Potter, and D. A. H. Buckley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **333**, 241 (2002).
14. J. Lafler and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965).
15. J. Bailey, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **197**, 31 (1981).
16. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).

Бесплатно

Габдеев Максим Маратович

Фотометрические, спектральные и поляриметрические исследования  
магнитных катаклизмических переменных. Заказ №198с      Уч. изд. л. – 1.0

Тираж 100

---

САО РАН