

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

На правах рукописи

УДК 524.337.7

Сосновский Алексей Александрович

**Аккреционные процессы в избранных катаклизмических переменных с
различным эволюционным статусом**

Специальность 01.03.02 –
«астрофизика и звёздная астрономия»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Научный–2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., в.н.с., зав. лаб. лаборатории двойных звезд КрАО РАН

Павленко Елена Петровна

Официальные оппоненты:

д.ф.-м.н., в.н.с., руководитель отдела экспериментальной астрономии

ИНАСАН Саванов Игорь Спартакович

к.ф.-м.н., с.н.с отдела физики эмиссионных звезд и галактик ГАИШ

Ирсамбетова Татьяна Рустемовна

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита диссертации состоится "03" октября 2022 года в "___" часов на заседании диссертационного совета Д002.203.01 при САО РАН по адресу: 369167, КЧР, Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан "___" _____ 2022 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д002.203.01, к.ф.-м.н.

Шолухова О.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Аккреционные процессы на разных этапах поздней эволюции катаклизмических переменных (КП) позволяют выявить особенности различных компонентов КП и, следовательно, продвинуться в понимании эволюции звёзд, поэтому исследование этих объектов является весьма актуальной задачей [1]. Очевидна важность исследования прецессионных явлений (и, следовательно, периода «положительных сверхгорбов») в аккреционных дисках карликовых новых с отношением масс менее 0.3 масс Солнца (КП типа SU UMa) во время сверхвыпшек. Знание орбитальных периодов и периодов положительных сверхгорбов короткопериодических и долгопериодических КП типа SU UMa даст возможность оценить отношение масс для КП с различным эволюционным статусом и определить степень соответствия отношения масс стандартной теории эволюции КП. Изучение «отрицательных сверхгорбов», связанных с нодальной прецессией наклонного диска, актуально для выявления причин, приводящих к его наклону и для понимания связи между появлением/исчезновением отрицательных сверхгорбов и изменением интервала между вспышками.

Изучение аккрецирующих пульсирующих белых карликов в двойных системах, ввиду небольшого количества известных на сегодняшний день систем (18 объектов) [6] имеет огромное значение. Такие исследования сложны ввиду низкой светимости объектов $18^m - 20^m$ и требовательны к точности, высокому временному разрешению и длине временных рядов. При этом они дают, во-первых, беспрецедентную возможность изучить, используя периоды пульсаций, как внутренняя структура белого карлика реагирует на аккрецию вещества, во-вторых – мониторинг эволюции пульсационных периодов приведёт к определению полосы неустойчивости этого типа объектов, длительность которой значительно отличается от полосы неустойчивости для изолированных БК.

Цели и задачи

Целью диссертационной работы является подробное изучение аккреционных явлений и их следствий у малоисследованных катаклизмических переменных типа SU UMa с различным эволюционным статусом на основании высокоточных длительных фотометрических наблюдений, и определение ряда их параметров - орбитального периода и периодов положительных и отрицательных сверхгорбов, отношения масс компонентов, нерадиальных пульсаций и их эволюции у аккрецирующих белых карликов, выявление отличий аккрецирующих пульсаторов от изолированных, оценка времени прохождения полосы неустойчивости в таких системах.

Для достижения указанной цели были поставлены и последовательно решены следующие задачи:

1. Проведены длительные (2010-2021 г.) высокоточные фотометрические наблюдения четырёх катаклизмических переменных типа SU UMa - долгопериодической 1RXS J003828.7+250920 (далее - J0038) в «пробеле» периодов, короткопериодической EZ Lyn и КП со «средним» периодом NY Her и 1RXS J161600.81+620024.9 (далее - J1616) в течение 82 ночей (650 часов, 40000 оценок блеска).
2. Проведен анализ эволюции пульсаций белого карлика EZ Lyn на интервале более 10 лет после вспышки 2010 г.
3. Выполнен поиск, анализ и интерпретация периодических процессов у катаклизмических переменных J0038, J1616 и NY Her.
4. Получены такие физические параметры как отношение масс у J0038 и J1616; эффективные температуры белого карлика у EZ Lyn в течение прохождения полосы неустойчивости.

Методология исследования

Исследования проведены на основе фотометрических наблюдений, полученных на 2.6-м ЗТШ (90%) и на 38-см К-380 (10%) КрАО. Для

обеспечения максимальной эффективности наблюдений слабых объектов с минимальными потерями света, автором была разработана и установлена в прямом фокусе ЗТШ наблюдательная аппаратура с ПЗС-матрицей, колесом фильтров и обвязкой. Использовались также данные, полученные в других обсерваториях в рамках международных кампаний.

Наблюдения проводились с помощью пакета Maxim DL; обработка и калибровка изображений исследуемых объектов, звёзд сравнения и контрольных звёзд осуществлялась методами апертурной фотометрии. Анализ данных проводился с помощью традиционных апробированных методик: анализа временных рядов – периодограммного анализа, анализа разностей наблюдаемых и ожидаемых моментов экстремумов блеска (метод O-C); диаграмм «цвет-звездная величина». Оценки полученных физических характеристик делались с использованием эмпирических и теоретических соотношений. Использовался новый подход к поиску отрицательных сверхгорбов у карликовых новых типа SU UMa.

Научная новизна

Соискателем проведены долговременные уникальные наблюдения (около 10 лет, ~ 40000 оценок блеска, суммарное время наблюдений около 650 часов) с высоким временным разрешением, полученные на 2.6 м ЗТШ, четырёх карликовых новых, представляющих различные этапы поздней эволюции тесных двойных систем. Полученные данные собраны в базе данных и находятся в открытом доступе [8].

Определены ранее неизвестные параметры этих систем - орбитальные периоды и оценки отношения масс у карликовых новых J0038 и J1616, отрицательные сверхгорбы у NY Her и J0038. Впервые был использован новый подход к поиску отрицательных сверхгорбов у карликовых новых типа SU UMa по выборкам систем с нехарактерно редкими нормальными вспышками для данного интервала между сверхвспышками. Впервые изучена эволюция пульсаций белого карлика EZ Lyn на временном интервале ~10 лет и показано,

что это самое долгое пребывание аккрецирующего белого карлика в полосе неустойчивости среди известных подобных систем.

Научная и практическая значимость

Результаты исследований, полученные в ходе выполнения данной работы, позволяют лучше понять процессы, происходящие во взаимодействующих двойных системах. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем для улучшения теории эволюции катаклизмических переменных и теоретических моделей гидродинамики аккреционного диска. Также полученный материал может быть использован в процессе обучения студентов на кафедрах астрономии и физики, при написании дипломных работ, а также в публичных лекциях по астрономии для широких масс населения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Для короткопериодической карликовой новой EZ Lyn, содержащей пульсирующий белый карлик, впервые обнаружены пульсации, существующие в течение десяти лет после вспышки 2010 г. и показано их увеличение с 257 сек. до 756 сек., происходившее неравномерно. Это соответствует остыванию белого карлика с $\sim 12\,000$ К до $\sim 11\,400$ К и указывает на самое долгое пребывание в полосе неустойчивости для известных аккрецирующих пульсаторов среди карликовых новых. Показаны отличия поведения пульсаций аккрецирующего белого карлика от изолированного.

2. Обнаружены орбитальные периоды у карликовых новых 1RXS J003828 (0.09451 сут.) и 1RXS J161659 (0.06888 сут.) по данным наблюдений в спокойном состоянии. Показано, что это системы с частным затмением, а 1RXS J003828 попадает в «пробел» распределения орбитальных периодов.

3. Для карликовых новых 1RXS J003828 и 1RXS J161659 впервые сделаны оценки отношения масс компонентов, находящиеся в хорошем согласии с теоретическими оценками стандартной эволюции КП.

4. Обнаружены отрицательные сверхгорбы у карликовой новой NY Her в спокойном состоянии с периодом 0.07141(5) сут. Получено наблюдательное подтверждение теоретического предсказания о связи увеличения интервала между вспышками с появлением нодальной прецессии аккреционного диска. Также найдены отрицательные сверхгорбы у карликовой новой 1RXS J003828 (период 0.0917 сут.) в спокойном состоянии и нормальной вспышке.

5. Создана база фотометрических данных ряда катаклизмических переменных типа SU UMa с малым отношением масс и различным эволюционным статусом, являющаяся значимым вкладом в мировую базу данных этих объектов (более 40000 оценок блеска, суммарное время наблюдений около 650 часов).

Достоверность и апробация работы.

Результаты, представленные в данной диссертации, имеют достаточную достоверность и обоснованность, определяемую статистическим анализом большого количества нового фотометрического материала, полученном на длительном интервале времени.

Основные выводы и положения диссертации получили высокую оценку среди мирового астрономического сообщества, о чем свидетельствуют публикации в ведущих научных журналах с высоким импакт фактором; они также были использованы другими исследователями, о чем говорит цитируемость статей. В частности, обнаруженное нами появление нерадиальных пульсаций белого карлика в системе карликовой новой EZ Lyn после вспышки 2010 г, через несколько месяцев было подтверждено наблюдениями космическим телескопом Хаббл.

Основные научные результаты диссертационной работы были представлены в докладах на 13 международных и всероссийских научных конференциях и на семинарах:

1. Международная конференция «20th Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics», Kyiv 2013. *Color study of the eclipsing cataclysmic*

variable IRXJ 003828 in an inactive state in 2010-2012.

2. Международная конференция «19th Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics», Kiev 2012. *Cataclysmic variable Star IRXS J003828. Discovering the eclipse. Physical characteristic.*

3. Международная конференция «Астрономия и физика космоса», *Compact binary stars—the sources of gravitational radiation: 15 years of investigation in the CrAO, 2014.*

4. Международная конференция Palermo workshop 2015 “The golden age of cataclysmic variables and related objects-III”, September 7-12, Palermo, Italy. *Cataclysmic variable in the period gap or the borderline SU UMa type dwarf novae.*

5. Международная конференция "Stars: from Collapse to Collapse" SAO, Nizhnij Arkhyz, Oct. 3-7, 2016, *EZ Lyn: 5 years of "rest".*

6. Международная конференция "Golden age of cataclysmic variables and related objects - IV", Palermo, Italy, Sept. 11 - 16. *SU UMa dwarf novae in the period gap.*

7. Международная конференция "Compact White Dwarf Binaries", Yerevan, Armenia, September 15 -21, 2019. *Evolution of negative superhumps*

8. Международная конференция “Наземная астрономия в России. XXI век.” SAO, 21-25 сент. 2020. *Особый этап эволюции катаклизмических переменных.*

9. Всероссийская конференция "Звезды, планеты и их магнитные поля», Санкт-Петербург. *Периодические процессы в катаклизмических переменных: предсказания и наблюдения.*

10. Всероссийская конференция «Настоящее и будущее малых и средних телескопов». Россия, SAO, пос. Нижний Архыз, 19-22 октября 2015 г. *Последние результаты исследования катаклизмических переменных на телескопах НИИ КрАО.*

11. XXV Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых "ВНКСФ", Санкт-Петербург, 2018.

Циклическое изменение периода отрицательных сверхгорбов у катаклизмической переменной NY Her.

12. ВАК 2021: “Астрономия в эпоху многоканальных исследований”, 23-28

августа, 2021, Москва, Россия. *EZ Lyn: быстрое остывание белого карлика после вспышки 2010 г.*

13. Всероссийская астрономическая конференция - 2017 "Астрономия: познание без границ", 17-22 сентября, 2017, Ялта, Крым. *NY Her: открытие отрицательных сверхгорбов.*

Публикации по теме диссертации

Автор имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых журналах, входящих в число научных журналов, рекомендованных ВАК – 7 работ.

1. Amantayeva, A.; Zharikov, S.; Page, K.; Pavlenko, E.; **Sosnovskij, A.**; Khokhlov, S.; Ibraimov, M. *Period Bouncer Cataclysmic Variable EZ Lyn in Quiescence.* // The Astrophysical Journal, Volume 918, Issue 2, id. 58, 16 p., 2021.
2. Pavlenko, E.; **Sosnovskij, A.**; Antoniuk, K.; Lyumanov, E.; Pit, N.; Antoniuk, O. *Humps and Superhumps in the SU UMa-Type Dwarf Nova System IRXS J161659.5+620014.* // Astrophysics, Volume 63, p. 491–503, 2020.
3. Pavlenko, E.; **Sosnovskij, A.**; Katysheva, N.; Kato, T.; Littlefield, K. *Eclipsing SU UMa-Type Dwarf Nova IRXS J003828.7+250920 During the "Period Gap". I. Multiperiodicity and Color Features in 2011-2012.* // Astrophysics, Volume 59, Issue 3, p. 304-320, 2016.
4. Pavlenko, E.; Kato, T.; **Sosnovskij, A.**; Andreev, M.; Ohshima, T.; Sklyanov, A.; Bikmaev, I.; Galeev, A. *Dwarf nova EZ Lyncis second visit to instability strip.* // Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 66, Issue 6, p. 113, 2014.
5. Pavlenko, E.; Malanushenko, V.; Tovmassian, G.; Zharikov, S.; Kato, T.; Katysheva, N.; Andreev, M.; Baklanov, A.; Antonyuk, K.; Pit, N.; **Sosnovskij, A.**; Shugarov, S. *SDSS J080434.20 +510349.2: cataclysmic variable witnessing the instability strip?* // Memorie della Societa Astronomica Italiana, Volume 83, p.520, 2012.

6. Kato, T.; Isogai, K.; Hamsch, F.; Vanmunster, T.; Itoh, H.; Monard, B.; Tordai, T.; Kimura, M.; Wakamatsu, Y.; Kiyota, S.; Miller, I.; Starr, P.; Kasai, K.; Shugarov, S.; Chochol, D.; Katysheva, N.; Zastrojnykh, A.; Sekeráš, M.; Kuznyetsova, Y.; Kalinicheva, E.; Golysheva, P.; Krushevskaya, V.; Maeda, Y.; Dubovsky, P.; Kudzej, I.; Pavlenko, E.; Antonyuk, K.; Pit, N.; **Sosnovskij, A.**; Antonyuk, O.; Baklanov, A. et al. *Survey of Period Variations of Superhumps in SU UMa-Type Dwarf Novae. IX: The Ninth Year (2016–2017)*. // Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 69, Issue 5, 75 p., 2017.
7. **Sosnovskij, A.**, Antonyuk, O. I., Pavlenko, E. *EZ Lyn: 5 Years of "Quiescence"*. // Stars: From Collapse to Collapse, Proceedings of a conference held at Special Astrophysical Observatory, Nizhny Arkhyz, Russia 3-7 October 2016. Edited by Yu. Yu. Balega, D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, and I. A. Yakunin. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.205, 2017.
8. **Sosnovskij, A.**, Pavlenko, E. *EZ Lyn: White Dwarf fast cooling after 2010 outburst*. // Astronomy at the epoch of multimessenger studies. Proceedings of the VAK-2021 conference, Aug 23–28, 2021.
9. **Sosnovskij, A.**, Pavlenko, E., Pit, N., Antoniuk, K. *NY Her: possible discovery of negative superhumps*. // Information Bulletin on Variable Stars, No. 6216, #1, 2017.

Личный вклад

Диссертация на 90% основана на наблюдениях, полученных соискателем в 2010-2021 гг. единолично. В 2012 году автором была разработана и установлена в прямом фокусе 2.6 м. телескопа ЗТШ кассета с оборудованием, позволяющим проводить собственные исследования по данной тематике. Большинство данных, представленных в диссертации (в течение 80 ночей), были выполнены на этом оборудовании. Для статей 1-9 была осуществлена обработка и первичный анализ данных, подготовка программ наблюдений. В статьях 7-9 соискатель является первым автором, а полученные результаты

полностью основаны на наблюдениях, полученных и обработанных лично. В статьях 2, 3, 4, 5 наблюдения автора вносят определяющий вклад, соискатель участвовал в постановке задачи, проведение частотного анализа, написании текстов статей, представлении, интерпретации и обсуждении полученных результатов.

Структура настоящей работы обусловлена предметом, целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Полный объем составляет 119 страниц, включая 52 рисунка и 6 таблиц. Список литературы содержит 88 наименований.

Содержание диссертационной работы.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, определяются ее цель, задачи и методы исследования. Обсуждаются научная новизна и практическая значимость исследования, приводятся положения, выносимые на защиту, излагаются содержание работы и личный вклад автора.

Первая глава диссертации посвящена обзору современного состояния проблемы, методике ведения наблюдений и анализа данных. **В главе 1.1** описано современное состояние проблемы и основные теоретические сведения об этом классе объектов, имеющиеся на сегодняшний день. **В главе 1.1.1** приведена информация о карликовых новых типа SU UMa - подклассе немагнитных катаклизмических переменных (далее КП) с периодами < 3 часов: **глава 1.1.1.1** посвящена описанию приливной неустойчивости аккреционных дисков и её следствиям – апсидальной прецессии и положительным сверхгорбам, приведены перспективы колориметрических наблюдений сверхгорбов в течение сверхвысшики для КП с различным темпом потери вещества звезды-донора. **В главе 1.1.1.2** идёт речь о менее распространенном явлении в КП - отрицательных сверхгорбах, и общепринятой гипотезе, объясняющей их появление - обратной нодальной прецессии диска, плоскость

которого наклонена к орбитальной плоскости [9]. Глава 1.1.3 посвящена описанию «пробела» в распределении орбитальных периодов – особом этапе в эволюции КП, во время которого происходит смена механизмов потери углового момента.

Глава 1.1.4 описывает особенности поведения нерадиальных пульсаций аккрецирующих белых карликов. **Глава 1.2** посвящена методике наблюдений и обработке данных: в **главах 1.2.1, 1.2.2 и 1.2.3** описаны инструменты, на которых проводились наблюдения, представлены их технические характеристики, возможности, кривые чувствительности светофильтров, формулы перехода от инструментальной системы BVRI к стандартной BVRcIc Джонсона-Кузинса, а так же описаны принципы апертурной фотометрии, приведены зависимости точности единичного измерения блеска от звёздной величины для данного времени экспозиции, информация о звездах сравнения и использованные методики анализа данных наблюдений.

Глава 2 диссертации посвящена исследованию эволюции нерадиальных пульсаций белого карлика у катаклизмической переменной EZ Lyn, содержащей пульсирующий белый карлик. В **главе 2.1.1** изложена история объекта. В **главе 2.2** описаны наблюдения, которые проводились с 2007 по 2021 г. в КраО на 2.6 м телескопе ЗТШ и других телескопах - всего в течение 57 ночей, и методы анализа данных. Представленный в диссертации интервал наблюдений EZ Lyn составляет около 1 г. после вспышки 2006 г. и около 10 лет (более 50 ночей) после вспышки 2010 г., из них диссертантом самостоятельно выполнены наблюдения и обработка данных в течение 45 ночей.

В **главе 2.3** представлена долговременная кривая блеска карликовой новой типа WZ Sge EZ Lyn с 2006 по 2021 гг. построенная по нашим данным, включающая две вспышки, серию мини-вспышек после вспышки 2006 года и наблюдения в спокойном состоянии. EZ Lyn показала нехарактерно высокую для звёзд типа WZ Sge вспышечную активность, продемонстрировав две вспышки с интервалом в 4 года, в то время как частота вспышек большинства

звёзд типа WZ Sge - десятки лет. Показано, что вспышка 2010 года отличалась от предыдущей числом повторных поярчаний (ребрайтингов).

В главе 2.4 показано, что нерадиальные пульсации белого карлика, обнаруженные в первом прохождении полосы неустойчивости после вспышки 2006 г. [4], продолжали регистрироваться и во время мини-вспышек в 2007 г. с периодом, близким к периоду, который регистрировался в спокойном состоянии. Отмечено, что присутствие пульсаций в мини-вспышках указывает на то, они не вызвали нагрев белого карлика, достаточный для выхода из полосы неустойчивости. В главе 2.5 представлен анализ нерадиальных пульсаций белого карлика в течение второго прохождения полосы неустойчивости (2011-2021 гг.), в которую EZ Lyn вошёл спустя ~7 месяцев после вспышки 2010 г, но с меньшим периодом пульсаций - 4,28 мин (257 сек). В том же году наблюдения EZ Lyn были проведены космическим телескопом Хаббл, который подтвердил наличие пульсаций с этим же периодом в ультрафиолетовом диапазоне [5]. Глава 2.6 посвящена анализу быстрых изменений периода пульсаций в течение нескольких часов по данным отдельных ночей. В главах 2.7-2.8 рассматривается эволюция пульсаций на всём 10-летнем интервале наблюдений, показывающая «скачкообразное» увеличение периода от 4.28 мин до 12.6 мин. (см. Рис. А), а также показано, что белый карлик продолжает пульсировать, а значит, находится в полосе неустойчивости не менее 10 лет и продолжает остывать. В обсуждении, которое приводится в главе 2.9, показано, что это увеличение периода может соответствовать уменьшению температуры белого карлика от ~12000К до ~11400К и продемонстрировано хорошее согласие с температурами, найденными независимо спектральными методами.

Сделан вывод, что спустя 10 лет после вспышки EZ Lyn белый карлик всё ещё не вышел из полосы неустойчивости, хотя прошёл большую её часть. Отмечено также, что подобное неравномерное увеличение периода пульсаций в процессе остывания белого карлика после вспышки наблюдалось у GW Lib [6].

объекта необходимо знание орбитального периода, специальные наблюдения с целью его поиска были проведены в минимуме блеска.

Результат наблюдений и их анализ приведён в **главе 3.4**. В ней описываются обнаружение орбитального горба, частного затмения и их характеристик на кривых блеска и, следовательно, нахождение орбитального периода. Его величина 0.0945 сут. однозначно определяет карликовую новую как находящуюся в пробеле периодов. В этой же главе показано, что частное затмение наблюдается также и на кривой блеска во время нормальной вспышки. В **главе 3.5** идёт речь о выяснении причины вариаций внезатменного блеска. Анализ временных рядов выявил наличие ещё одного периода - отрицательных сверхгорбов, который наблюдался по крайней мере в течение двух лет. Знание периода положительных сверхгорбов и орбитального периода позволило вычислить избыток и дефицит периода ε (**глава 3.6**) и получить оценку отношения масс компонентов 1RXS J003828 $q \sim 0.21$, которая неплохо согласуется со стандартным ходом эволюции (**глава 3.7**). В **главе 3.8** описываются результаты анализа колориметрических наблюдений в полосах BVRc. Показано положение 1RXS J003828 и контрольных звезд на двухцветной диаграмме B-V, V-Rc. В то время, как контрольные звезды поля располагаются в непосредственной близости от Главной последовательности, положение 1RXS J003828, в среднем, смещено относительно нее и линии абсолютно черного тела вправо. Это может указывать на то, что основным источником излучения в минимуме блеска является аккреционный диск и горячее пятно. В **главе 3.9** представлены выводы к главе 3 и указан личный вклад соискателя в изучение данного объекта.

Результаты анализа периодических явлений у карликовых новых NY Her в минимуме блеска и J1616 во время сверхвспышки, нормальных вспышках и в минимуме блеска, описаны в **Главе 4**.

В **главе 4.1** даётся обоснование выбора NY Her и J1616 для поиска вероятных отрицательных сверхгорбов у этих объектов при анализе долговременных кривых блеска, была замечена необычно низкая частота

нормальных вспышек при коротком сверхцикле. Авторы предположили, что увеличение цикла (интервала между нормальными вспышками) могло произойти из-за наклона аккреционного диска над орбитальной плоскостью. В этом случае аккреционная струя большую часть времени попадает не в край диска, а в его центральные части и требуется больше времени для достижения критических условий, необходимых для запуска тепловой неустойчивости. Вследствие этого можно было бы ожидать появление нодальной прецессии диска и, как следствие, отрицательных сверхгорбов. Основная информация об NY Her дана в **главе 4.2.1**, а наблюдения описаны в **главе 4.2.2**. **Глава 4.2.3** посвящена анализу кривых блеска, полученных во время спокойного состояния NY Her, когда его блеск колебался в пределах $18^m.5 - 19^m.8$. Представлен анализ временных рядов, указавший на строгую периодичность сигнала с большой амплитудой. Приведены аргументы в пользу того, что обнаруженная периодичность, действительно, является искомым периодом отрицательных сверхгорбов.

Сведения о карликовой новой J1616 изложены в **главе 4.3.1**, а наблюдения описаны в **главе 4.3.2**. В **главе 4.3.3** показана вспышечная активность объекта, зарегистрированная соискателем в 2017 г., выявившая конкретную длину цикла (11 сут.) нормальных вспышек в эпоху наблюдений. Периодограммный анализ данных J1616 в минимуме блеска не показал наличие периода отрицательных сверхгорбов, как предполагалось. Вместо этого была обнаружена переменность блеска с орбитальным периодом.

В **главе 4.3.4** идёт речь об исследовании положительных сверхгорбов во время сверхвспышки 2018 г. Определены моменты максимумов блеска и соответствующие величины O-C. Сравнение с ходом O-C у предыдущих сверхвспышек 2016 и 2017 гг. показало хорошую воспроизводимость. Определено, что наблюдения приходились на конечную стадию (C) эволюции положительных сверхгорбов. Знание орбитального периода и периода положительных сверхгорбов позволило найти избыток периода и получить оценку отношения масс компонентов 1RXS J161659, равную $q=0.14$,

оказавшуюся в хорошем согласии со стандартной эволюцией КП. В главе 4.3.5 представлен результат BVR_c колориметрии положительных сверхгорбов: небольшое увеличение амплитуды с длиной волны; показатель цвета $B-R_c$ наиболее «красный» вблизи максимума сверхгорба.

В главе 4.3.6 представлены выводы к главе 4. и указан личный вклад диссертанта в изучение данных объектов.

В заключении подводятся итоги и формулируются основные выводы диссертационной работы.

Литература

1. Knigge, C. “The donor star of cataclysmic variables” // MNRAS 373, 484 (2006).
2. Szkody, P. “A Mini-Review of Accreting Pulsating White Dwarfs” // Frontiers in Astronomy and Space Sciences, Volume 8, id.184 (2021).
3. Wood, M.A., Burke, C.J. “The Physical Origin of Negative Superhumps in Cataclysmic Variables” // Astrophys. J. 661, 1042 (2007).
4. Pavlenko, E., Shugarov S. Yu., Katysheva N.A. et al. “Discovery of the New WZ Sge Star SDSS J080434.20+510349.2” // ASPC, 372, 511 (2007).
5. Szkody, P., Mukadam, A. S., Sion et al. “Hubble Space Telescope and Optical Data on SDSSJ0804+5103 (EZ Lyn) One Year after Outburst” // AJ, 145, 121 (2013).
6. Toloza, O., Szkody, P., “GW Librae: a unique laboratory for pulsations in an accreting white dwarf” // 42nd COSPAR Scientific Assembly (2018).
7. Kato T., Osaki Y. “New Method of Estimating Binary's Mass Ratios by Using Superhumps” // Publ. Astron. Soc. of Japan, 65, 115 (2013).
8. <http://www.crao.ru/~aas/CATALOGUES/APIKaP/APIKaP.html>
9. Wood, M.A., Burke, C.J. “The Physical Origin of Negative Superhumps in Cataclysmic Variables” // Astrophys. J. 661, 1042 (2007).

Сосновский Алексей Александрович

Аккреционные процессы в избранных катаклизмических переменных с различным
эволюционным статусом

Подписано в печать Заказ № _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография _____