

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова
Государственный Астрономический институт имени П.К. Штернберга

На правах рукописи

Сазонов Александр Николаевич

Фотометрические исследования тесных двойных звездных систем с
рентгеновскими источниками: NZ Her=Her X-1, V1343 Aql=SS 433, V1357
Cyg=Cyg X-1, V1341 Cyg=Cyg X-2

01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук

Москва 2011 год

**Работа выполнена в отделе исследования Галактики и переменных звезд
Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга**

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, академик РАН
Черепашук Анатолий Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Курт Владимир Гдалевич (Астро-
космический Центр Физического института имени П.Н. Лебедева РАН)

доктор физико-математических наук, Тутуков Александр Васильевич,
с.н.с.,(Институт астрономии РАН, ИНАСАН)

Ведущая организация:

Казанский (приволжский) федеральный университет

Защита диссертации состоится 3 ноября 2011 года в 14:00 на заседании Диссертаци-
онного совета по астрономии Московского государственного университета имени М.В.
Ломоносова, шифр Д 501.001.86.

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономиче-
ского института имени П.К. Штернберга МГУ (Москва, Университетский проспект,13)

Автореферат разослан 3 октября 2011 года

Ученый секретарь Диссертационного совета доктор физико-математических наук
Алексеев С.О.

Общая характеристика работы

Исследования тесных двойных звездных систем (ТДС) позволяют проверять правильность наших представлений о внутреннем строении и эволюции звезд в сценарии, когда масса звезды не сохраняется, а ее радиус ограничен геометрическими размерами внутренней критической полости (ВКП) Роша. Эволюционный статус целого ряда интересных звезд удалось объяснить в рамках теории эволюции ТДС, в жизни которых существенную роль играет взаимодействие между оптическим и релятивистским компонентами. Последние достижения рентгеновской астрономии позволили проследить эволюцию ТДС вплоть до самых поздних стадий, включающих белые карлики (БК), нейтронные звезды (НЗ) или вероятную черную дыру (ЧД).

Исследуя ТДС можно определить многие физические параметры входящих в тесную систему звездных компонентов. Поэтому, многие физические процессы, происходящие на разных стадиях эволюции в двойных системах изучаются более детально, чем в одиночных звездах.

В тесных системах, в которых происходит обмен масс между компонентами посредством перетекания вещества с одного на другой, как правило, соседняя звезда является компактным релятивистским объектом (БК, НЗ или ЧД), обладающим сильным гравитационным потенциалом, что обуславливает аккрецию на нее вещества с оптического компонента.

В связи с этим, физические процессы аккреции и переработки энергии вещества, падающего на компактный объект системы, оказываются актуальной задачей регистрации излучения с высоким временным разрешением в различных спектральных диапазонах энергий позволяющие уточнять существующие модели ТДС.

Настоящая работа посвящена фотометрическому исследованию тесных двойных систем $HZ\ Her=Her\ X-1$, $V1343\ Aql=SS\ 433$, $V1357\ Cyg=Cyg\ X-1$ и $V1341\ Cyg=Cyg\ X-2$ в $U(W)BVRI$ -спектральных диапазонах.

Тесная двойная система $HZ\ Her=Her\ X-1$ является прототипом целого класса звезд, тонкие фотометрические особенности которой, позволяют детально уточнить многие физические свойства нейтронных звезд, входящих в состав двойных систем.

Система $V1343\ Aql=SS\ 433$ уникальна по многим причинам: в этой системе осуществляется сверхкритический режим аккреции вещества оптического компонента-донора на

компактный релятивистский объект [1]; в системе имеется аккреционный диск (АД), находящийся в сверхкритическом режиме; АД является прецессирующим в пространстве и периодически затмевается оптическим компонентом; практически все излучение микровозара SS 433, которое формируется в сверхкритической области АД, наблюдается в виде оптического потока звездного ветра из диска и релятивистских струй (джетов).

Звездный микровозар V1357 Cyg=Cyg X-1 представляет естественную лабораторию по изучению экзотичного класса релятивистских объектов, как черная дыра, находящаяся в паре со сверхгигантом класса O9.7Iab. По независимым и более ранним авторским *WBVR*- наблюдениям обнаружена "медленная и малоамплитудная" вспышка в этой тесной двойной системе. Медленную вспышку в системе объясняем моделью возникновения динамо-всплесков, в форме, более адекватной динамо Паркера.

Тесная система V1341 Cyg=Cyg X-2 является маломассивной системой с оптическим компонентом ненамного превосходящего по массе Солнце в паре с нейтронной звездой. Оптический компонент в этой системе ранее причисляли к экзотичному классу "голубых страглеров" ("голубые бродяги"), но из анализа фотометрических данных объекта V1341 Cyg=Cyg X-2 обнаружено, что объект вероятнее всего, не является "*голубым страглером*", а находится на диаграмме Г-Р на эволюционной ветви "*красных гигантов*".

Актуальность темы

Исследование ТДС, в состав которых входят рентгеновские источники имеет принципиальное значение для современной теории эволюции звезд. При изучении переменных звезд посредством фотометрических наблюдений, которые дают обширную информацию для понимания физических процессов в тесных двойных системах, в ряде случаев мы получаем орбитальные и прецессионные кривые блеска, находим или уточняем орбитальные периоды и т.д.

Привлечение дополнительных данных рентгеновских или спектральных наблюдений (в первую очередь построение кривой лучевых скоростей), а также использование методов математического моделирования дает нам уникальную возможность построения более реалистичных моделей этих систем.

Изложенные выше положения однозначно характеризуют актуальность всеволновых исследований данного класса звезд.

Автором получены большие ряды однородного материала в многоцветных фотометрических системах (*UBVRI*, *WBVR*) на средних и малых телескопах с новейшей светоприемной аппаратурой (на период исследований 1980 - 1990 гг.) и последующей компьютерной и математической обработкой наблюдательного материала.

Цель работы

Цели и задачи работы заключались в следующем:

первая задача - получение длительных фотометрических многоцветных рядов наблюдений избранных ТДС;

вторая задача - исследование полученных электрофотометрическим методом кривых блеска системы и изучения их на предмет выявления тонких фотометрических эффектов;

третья задача - использование полученного массива данных наблюдений для следующих целей, а именно:

- изучение временных вариаций оптического излучения избранных ТДС путем построения многолетних кривых блеска этих систем;

- исследования нестационарностей в аккреционных дисках (АД) и коронах компактных объектов ТДС;

- фотометрическое исследование пекулярных особенностей этих объектов;

- исследования вспышечной активности у избранных ТДС, связанной с нестационарностью АД и газовых потоков;

- анализ полученных временных рядов наблюдений этих ТДС;

- поиск, уточнение и изучение переменностей разной длительности, связанных с орбитальным и прецессионным движением ТДС;

- исследование быстрых изменений блеска на временных шкалах от десятков секунд до десятков минут.

- определение различных цветовых характеристик, а также анализ их временных изменений у исследуемых ТДС;

Решена задача фотометрических наблюдений этих астрофизических объектов, про-

ведена математическая обработка наблюдательных данных и интерпретация полученных научных результатов на основе существующих моделей.

Для интерпретации полученных результатов была предпринята попытка выяснения физических механизмов перетекания вещества между звездами в тесной двойной системе, включая наиболее поздние стадии рентгеновских двойных систем с релятивистскими компонентами, с привлечением результатов и моделей, полученных в работе по исследованию поведения траекторий частиц в ТДС в небесно-механическом приближении.

Научная и практическая ценность работы

Многолетние фотометрические наблюдения имеют значительную и абсолютную ценность, поскольку они дают нам важную информацию для решения многих астрономических проблем и астрофизических задач. Следует заметить, что ценность и значение этой информации только растут с течением времени.

Проведены многолетние фотометрические наблюдения двойных звездных систем с рентгеновскими источниками:

NZ Her=Her X-1, V1343 Aql=SS 433, V1357 Cyg=Cyg X-1,

V1341 Cyg=Cyg X-2, а также новоподобной переменной FY Per.

Данные фотометрические наблюдения диссертанта могут быть использованы для уточнения существующих моделей этих уникальных систем. Особую ценность всех фотометрических данных диссертанта представляет то, что, они выполнены в разных обсерваториях.

Оригинальные многоцветные фотометрические данные избранных ТДС, полученные и опубликованные, а также помещенными в базу данных ГАИШ автором могут быть использованы другими исследователями для решения следующих задач:

- решения наблюдательных задач по астрофизике;
- проверки расчетов поздних стадий эволюции ТДС;
- изучения изменений показателей цвета и положения систем на эволюционных диаграммах;
- изучения долговременных переменностей блеска;
- изучения квазипериодических осцилляций (QPO), фликеринга и других быстро-

течных изменений блеска систем;

- изучения орбитальных, прецессионных, нутационных и других вариаций блеска.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Результаты многолетних (от 7 до 13 - и более лет) электрофотометрических многоцветных *UBVRI* - и *WBVR* - исследований избранных астрофизических объектов на поздней стадии эволюции, выполненные самостоятельно диссертантом на различных оптических инструментах и с разными инструментальными фотометрическими системами.

2. ТДС HZ Her=Her X-1: обнаружение тонкого фотометрического эффекта прогрева различных частей аккреционного диска нейтронной звезды в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах спектра при различных уровнях рентгеновской активности системы и в разных фазах 35 - дневного прецессионного цикла. Этот эффект обнаружен по независимым оптическим наблюдениям автора в *WBVR* - спектральных диапазонах за 14 - и летний период наблюдений объекта. Получены уверенные колориметрические данные внешних частей диска при входе и выходе из затмения. При учете вышеизложенного, автор придерживается модели прецессии аккреционного диска в направлении орбитального движения нейтронной звезды.

3. ТДС HZ Her=Her X-1: массив многолетних наблюдательных однородных фотометрических данных этой уникальной системы в *WBVR*-спектральных полосах позволяет определить моменты включения рентгеновского излучения (РИ) нейтронной звезды (НЗ) Her X-1 с 140 по 200 циклы. Оптические наблюдения диссертанта восполняют пробел в наблюдениях этой системы рентгеновскими обсерваториями со 140 по 174 циклы включения РИ НЗ Her X-1. Эти данные позволили уточнить поведение рентгеновского пульсара в зависимости от темпа аккреции вещества на АД.

4. При наблюдениях объекта SS 433 обнаружены фазовые сдвиги кривых блеска в спектральных полосах *UBVRI* для различных фаз прецессионного периода. Этот факт был впервые установлен авторами в работе [2].

5. Установлено существование в системе SS 433 газовой "короны диска" вокруг компактного релятивистского объекта, излучающей в УФ диапазоне.

6. Обнаружена "медленная и малоамплитудная" вспышка в тесной двойной системе

V1357 Cyg=Cyg X-1. По независимым и более ранним *WBVR* - наблюдениям автора выявлено, что за 13 лет наблюдений происходило некоторое усиление блеска системы в среднем на величину порядка от 2 – 3% в спектральных полосах *R,V* и до 5 – 6% в спектральных полосах *B* и *W*.

7. Обнаружено из анализа фотометрических данных объекта V1341 Cyg=Cyg X-2, что объект вероятнее всего, не является "*голубым страглером*", а находится на диаграмме Г-Р на эволюционной ветви *красных гигантов*.

Список публикаций по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано **18 работ**, в которых отражены основные результаты исследований диссертанта:

1. Н.М. Шаховской, А.Н. Сазонов "SS 433: Структура аккреционного диска и его короны на базе синхронной *UBVRI*- фотометрии ", "Письма в Астрономический журнал", 1996, Том 22, номер 8, с. 580-586.

2. A.N. Sazonov, N.I. Shakura "On The Ballistic Trajectories of the Particles Emitted from the Inner Lagrangian point", *Astrophysical Bulletin*, v.64, 1990.

3. A.N. Sazonov, S.Yu. Shugarov. "FY Persei is A Short period cataclysmic variable" *Sternberg State Astronomical Institute*, 119899, Moscow, Russian "Commissions 27 And 42 of the IAU Information Bulletin on Variable Stars Number, 3744 (Konkoly Observatory Budapest, 7 July 1992. HU ISSN 0324- 0676).

4. Сазонов А.Н. "Многоцветные фотоэлектрические *WBVR*-наблюдения ТДС HZ Her=Her X-1 в 1986-1988 гг." (Часть 1:"Методика наблюдений и наблюдения объекта"). 2011, *Астрон. журн.* Vol. 88. №02. pp.162-179.

5. Сазонов А.Н. "*WBVR* - наблюдения рентгеновской двойной системы звезды V1341 Cyg = Cyg X-2 в 1986-1992 гг.", 2011, *Астрон. журн.*, Vol.88 №03. pp.256-273.

6. Сазонов А.Н. "Фотоэлектрические наблюдения источника HZ- Геркулеса в *WBVR*-инструментальной фотометрической системе", "Астрономический циркуляр", №1518, ноябрь, 1987. с.5.

7. Сазонов А.Н. "Трехцветная фотометрия SS 433 = V1343 Aql в 1986-1987 гг.", "Астрономический циркуляр", 1988а, №1531. с.13

8. Сазонов А.Н. "Фотоэлектрические *WBVR*- наблюдения рентгеновского источника

Суг X-1=V 1357 Суг ", "Астрономический циркуляр ", №1528, апрель-май, 1988 г., с.20.

9. Сазонов А.Н. "Оптические наблюдения переменной звезды V 1341 Суг (Суг X-2) в инструментальной фотометрической системе *WBVR*" "Астрономический циркуляр ", №1531 , июнь-июль, 1988 г., с.15.

10. Сазонов А.Н. "Международная Астрономическая Конференция Молодых Ученых", г. Одесса, 1986, "Расчет баллистических кривых в ТДС в рамках задачи 3-х тел ". 38-я Астрономическая Студенческая Конференция в 1977 году в г.Одессе.

11. Сазонов А.Н. "Сборник: Тесные двойные звезды в современной астрофизике, Тез. докл. Всероссийск. астрон. конф.", (М.: ГАИШ МГУ, 2006), р. 39.

12. Сазонов А.Н. Всероссийская астрофизическая конференция. "Сборник докладов: Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA-2010)". 21-24 декабря 2010 года. г. Москва. ИКИ РАН. с.46.

13. Sazonov A.N. "*WBVR* Photometry of the CBS HZ Her/Her X-1", pre-print:arXiv: 0904.0168;

14. Sazonov A.N. "*WBVR* Observations of the Variable Star V 1341 Cyg in 1986-1992"; pre-print:arXiv: 0907.3822;

15. Sazonov A.N. "Optical Multicolor Observations of the SS 433=V 1343 Aql Microquasar"; pre-print:arXiv: 0907.3884;

16. Sazonov A.N. "Optical Observations of the CBS HZ Her=Her X-1"; pre-print: arXiv: 0912.0706S;

17. Sazonov A.N. "Optical Multicolor Observations of the SS 433=V1343 Aql Microquasar"; pre-print: arXiv: 1011.0923v1;

18. Sazonov A.N. "OPTICAL MULTICOLOR *WBVR*-OBSERVATIONS OF THE X-RAY STAR V1341 CYG=CYG X-2 IN 1986-1992"; pre-print: arXiv:1011.3980v1;

Личный вклад автора диссертации

В опубликованных работах 1,2 и 3 диссертант принимал участие как постановщик задач наравне с соавторами; участвовал в наблюдениях (в равных долях в работах 1,3), в остальных работах - полностью осуществлял разработку математических и компьютерных программ наблюдений, получение и обработки фотометрических данных;

участвовал в подготовке и написании рукописей статей и обсуждении результатов интерпретаций в равных долях;

Апробация результатов

Основные результаты работы диссертантом докладывались:

на конференции молодых астрономов (Украина, г. Одесса, сентябрь 1987 г.);

Пулковская обсерватория, стендовые доклады и устные сообщения - 1987 год;

Главная астрономическая обсерватория г. Киев Украинская ССР, 1990-1991 гг.

Семинары отдела релятивистской астрофизики ГАИШ (2005 год);

На астрофизическом семинаре по теоретической астрономии (Ленинградский государственный университет, 1986, 1987, 1988, 1989 годы);

Крымская Астрофизическая обсерватория и Крымская лаборатория ГАИШ, пос. Научный, Автономная Республика Крым (1986-1988, 1996-1998 гг.).

Координационное совещание по программе оптического мониторинга уникальных астрофизических объектов в странах СНГ, 10 ноября 1995 года, г. Москва, Россия.

Всероссийская астрономическая конференция, Санкт - Петербург, 2001 год.

Кафедра астрофизики Санкт - Петербургского государственного университета, астрофизические семинары под руководством В.Г. Горбацкого (1986-1988, 1990, 1992-1994, 1999-2000 гг.)

На конференции памяти Шварцмана В.Ф. САО (Н. Архыз) (1987 год)

На Всероссийской Астрономической Конференции "Тесные двойные звезды в современной астрофизике к 100 - летию известного исследователя двойных звезд, профессора Дмитрия Яковлевича Мартынова, с 22 по 24 мая 2006 г. в Государственном Астрономическом институте им. П.К. Штернберга.

На семинарах отделов ГАИШ МГУ и ИНАСАН, г. Москва (1986 - 1988, 2005 - 2010 гг.);

Кафедра астрофизики научно - исследовательского астрономического института имени В.В. Соболева Санкт - Петербургского государственного университета - ноябрь 2010 года;

Астрофизический семинар в ГАО РАН (Пулково) - ноябрь 2010 года;

На 10-й Конференции по астрофизике высоких энергий - ИКИ РАН (г. Москва) - декабрь 2010 года.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 5-и приложений. Она содержит 233 страницы, 113 рисунков и графиков, 15 таблиц. Список литературы насчитывает 478 наименований первоисточников.

Содержание работы

Во введении дается общая характеристика диссертационной работы, обосновывается ее актуальность, научная новизна темы диссертации и необходимости проведенного научного исследования.

Изложены основные научные результаты, полученные диссертантом в своей работе и опубликованные в различных астрономических изданиях, включая международные электронные журналы.

Сформулированы основные выводы, выносимые диссертантом на защиту. Определен личный вклад автора в проведенных исследованиях.

В обзорной 1 главе диссертации описываются основополагающие свойства избранных тесных двойных систем (ТДС) на поздних стадиях эволюции. В этих системах первичный обмен веществом между компонентами уже завершился образованием peculiarных объектов: белых карликов (БК), нейтронных звезд (НЗ) и черных дыр (ЧД). Рассматриваются следующие ТДС с рентгеновскими источниками: NZ Her=Her X-1, V1343 Aql=SS 433, V1357 Cyg=Cyg X-1, V1341 Cyg=Cyg X-2. Наблюдаемые характеристики этих систем находятся в хорошем согласии с современной теорией эволюции ТДС.

Дальнейшее исследование таких уникальных систем имеет важное значение для астрофизики. Рассмотрено несколько типов тесных систем с рентгеновскими источниками по классификации работы [25].

Вторая глава диссертации посвящена исследованию ТДС NZ Her=Her X-1 и тонким фотометрическим эффектам, проявляющимся в системе. Кратко изложены свой-

ства объекта, которые используются при интерпретации наблюдательного материала полученного диссертантом.

Ставятся задачи по исследованию системы и интерпретации полученных многоцветных фотометрических данных.

В разделе 2.1. вводятся необходимые замечания и предпосылки, формулы для вычисления орбитальных и прецессионных фаз, описываются применяемые спектральные фильтры в фотометрах. Дается краткая характеристика и координаты звезд сравнения и контрольной, приводится суммарное количество полученных наблюдательных точек. Указывается метод обработки полученных наблюдательных результатов.

Указывается, что распределение числа наблюдений, коэффициенты трансформации η и ξ , учет атмосферной экстинкции при наблюдениях, коэффициенты редукции к стандартной фотометрической системе находятся в Приложениях диссертации.

Раздел 2.2. посвящен интерпретации наблюдательных данных за 13 лет: 1986-1998 гг. Полученные кривые блеска во все сезоны наблюдений рассматриваются на основе существующих моделей: "горячее пятно" на оптическом компоненте; экранируемое "горячее пятно" от рентгеновского излучения на АД НЗ системы; наличии сложной формы АД НЗ [11]; [12], в модели анизотропного рентгеновского источника; анализируются изменения колориметрических характеристик аккреционного диска НЗ при затмении его оптическим компонентом системы. Разница входа АД НЗ в рентгеновское затмение и выхода из него, составляет в среднем величину от $0^m.10$ до $0^m.25$ в зависимости от сезона наблюдений, что хорошо согласуется с аналогичными расчетами работы [13].

Имеется четкая корреляция наблюдательных данных во всех четырех спектральных полосах W, B, V, R на кривых блеска в наблюдательных сезонах 1986-1998 гг.

Показано, что кривые блеска НЗ Her качественно согласуются с кривыми блеска других авторов в эти периоды фотометрических наблюдений и имеют хорошую корреляцию данных во всех фазах прецессионного периода. Этот факт корреляции [13] подтвержден и положением внешних областей аккреционного диска на двухцветных диаграммах $(W - B)$ от $(B - V)$ при входе и при выходе АД НЗ из рентгеновского затмения.

Рассматривается заметный резкий вход и более плавный выход (как правило) из рентгеновских затмений. По-видимому, это можно интерпретировать тем, что половина

аккреционного диска при входе в затмение облучается мощным рентгеновским потоком, который в свою очередь зависит от пространственной ориентации диска и от прецессии диска в сторону орбитального движения системы, а также от протяженной и мощной короны аккреционного диска.

Третья глава диссертации посвящена исследованиям микроквара V1343 Aql=SS 433 в разных фазах 13-дневного орбитального периода в сезоны наблюдений 1981-1986 и 1986-1990 гг. Рассматриваются 7 полных циклов прецессионного 163^d -дневного периода системы за эти сезоны наблюдений.

Первая часть главы посвящена наблюдениям в *UBVRI*-спектральных диапазонах на телескопе АЗТ-11 (КрАО). Вторая часть-наблюдениям в *BVR*-спектральных диапазонах на телескопах меньшей апертуры.

Наблюдения уникального объекта SS 433 в многоцветной фотометрии [2], [4]; представляют значительный интерес и ценность, т.к. большая часть проведенных ранее наблюдений выполнена в полосе *V*, и существенно меньше, в полосах - *B*, *R* [14], [15], [16], [17].

Особенно мало наблюдений в полосах *U(W)* и *B*, в которых объект очень слаб из-за большого межзвездного поглощения, которое достигает величины порядка $7^m.5 - 8^m.5$, найденной в работе [2] и хорошо согласуется с другими оценками [18].

В разделе 3.1. рассматриваются коллимированные релятивистские выбросы ("джеты"), перпендикулярные плоскости диска, которые по-видимому, связаны со сверхкритической аккрецией вещества на компактный релятивистский объект массивной ТДС. Это находит свое отражение в зависимости форм кривых блеска в разных фазах орбитального и прецессионного периодов.

Кривые блеска меняются с фазой прецессионного цикла, что является, вероятно, проявлением активности газовых потоков системы и их активного взаимодействия с "плавающим" аккреционным диском, положение которого в пространстве связано с ориентацией релятивистских движущихся джетов. Вспышечная активность системы, по всей видимости, также связана с областью релятивистских "джетов".

В разделе 3.2. проводится анализ показателей цвета, который подтвердил особенности системы, обнаруженные ранее (пп.1-2, [2]; пп.3-4, [4]; [19]):

1. Наличие в системе газовой "короны диска" вокруг компактного объекта. Этот наблюдательный факт следует из анализа фотометрических многолетних наблюдений

в *UBVRI* - спектральных диапазонах: глубина главного минимума блеска в спектральной полосе *U* значительно больше, чем в остальных полосах, особенно для прецессионной фазы 0.1. Это, в свою очередь, означает, что в главном минимуме, соответствующем затмению диска, частично затмевается источник дополнительного излучения в спектральной полосе *U*. Им может быть оптически тонкий газ, излучающий за балмеровским скачком и локализованный в окрестностях аккреционного диска ("корона диска").

2. Существуют фазовые сдвиги орбитальных кривых блеска и разные высоты максимумов блеска (см. работу [2]) для разных полос и во всех прецессионных фазах 163^d периода.

3. Прецессионная и орбитальная (затменная) переменность ТДС предоставляют наблюдателю информацию об аккреционном диске, джетах и газовой "короне диска").

В разделе 3.3. проводится анализ кривых блеска в спектральных полосах *BVR*, который выявил особенность, что кривые блеска качественно подобны друг другу, глубина главного минимума (затмение аккреционного диска системы "нормальной" звездой) составляет в среднем, за эти сезоны наблюдений, величины порядка $0^m.65 \div 0^m.75$, $0^m.50 \div 0^m.60$, $0^m.35 \div 0^m.45$ в спектральных полосах *B, V, R* соответственно.

Фазовые сдвиги орбитальных кривых блеска и разные высоты максимумов блеска устанавливают следующие два факта:

1. существует асимметричность распределения яркости в аккреционном диске;
2. отстающая по ходу орбитального движения сторона АД системы является более яркой.

Четвертая глава посвящена исследованию тесной двойной системы V1357 Cyg=Cygnus X-1, релятивистский компонент которой, является вероятной черной дырой (ЧД).

Приводятся наблюдательные данные тесной двойной системы (ТДС) V1357 Cyg=Cygnus X-1, выполненные в *WBVR*-спектральных полосах. Всего получено 957 индивидуальных измерений за 202 наблюдательные ночи.

Было выявлено, что на орбитальную кривую блеска системы накладываются разные фотометрические эффекты - ослабления блеска, вспышки разной длительности и амплитуды, хаотическая переменность, которая иногда превышала эллипсоидальную переменность.

Наблюдались ослабления блеска, равные в среднем величине $0^m.035 - 0^m.045$, которые равны общему вкладу аккреционного диска в общую светимость системы.

Задача исследования усложнялась тем фактом, что вклад АД в общую светимость системы составляет всего 4% в спектральной полосе V [22].

АД системы, прецессируя в сторону орбитального движения с периодом 294^d [23], меняет форму орбитальной оптической кривой и средний уровень блеска, а также вызывает переменность в рентгеновском диапазоне [24] с тем же периодом. Этот вклад зависит, например, от фазы "прецессионного" периода $147^d/294^d$. Природа этого периода в настоящее время до конца не ясна.

Обнаружена "медленная и малоамплитудная" вспышка в тесной двойной системе V1357 Cyg = Cyg X-1. По независимым и более ранним $WBVR$ -наблюдениям автора выявлено, что за 13 лет наблюдений происходило некоторое усиление блеска системы в среднем на величину порядка от 2 – 3% в спектральных полосах R, V и до 5 – 6% в спектральных полосах B и W .

В пятой главе диссертации рассматривается маломассивная рентгеновская двойная система (ТДС) V1341 Cyg=Cyg X-2. Приводятся результаты $WBVR$ -наблюдений в 1986-1992 гг. Суммарное число наблюдений составляет 2375 индивидуальных измерений в 4-х спектральных полосах за 478 ночей в 1986-1992 гг.

Была осуществлена для данной ТДС привязка звезд сравнения и контрольной звезды к каталогу $WBVR$ через величины JHK . Ошибки при данной привязке составили величину 3% для полос B и V , и 8-10% для спектральных полос W и R .

Делается вывод о принадлежности оптической звезды в тесной двойной системы V1341 Cyg=Cyg X-2 к классу красных гигантов, а не "голубых страглеров".

Исследовалась долгопериодическая переменность системы в течении 7 лет наблюдений.

Исследовалась быстрая переменность звезды в $WBVR$ -спектральных полосах в минимуме и максимуме блеска на временных интервалах $\sim 60-90$ с. Быстрая переменность, наблюдаемая в рентгене - квазипериодические осцилляции (КПО), по всей видимости, вносит заметный вклад и в оптические кривые блеска.

Выполнено сравнение оптических наблюдений автора с рентгеновскими данными, полученными на обсерваториях EXOSAT и Ginga в эти периоды.

Синхронные наблюдения объекта V1341 Cyg=Cyg X-2 в рентгене и оптике до 1987

года не обнаружили корреляции между вариациями блеска оптического и рентгеновского потоков [20], а в период с 1987 и по 1991 гг. эпизодическая корреляция имела место [21].

Диссертантом было замечено, что имеется некоторая слабая корреляция наблюдательных данных в оптике и рентгене на уровне корреляции в 10%. Это следует из анализа оптических наблюдений автора и опубликованных данных (оптических и рентгеновских) за этот период исследований указанных объектов.

В заключении подводятся итоги работы по всем наблюдаемым объектам, количеству публикаций, апробации результатов на семинарах и конференциях. Дается оценка степени выполнения задач, которые ставились в начале работы.

Даны рекомендации для дальнейшего исследования звездных объектов, с которыми работал диссертант. Вкратце описаны некоторые программы наблюдений этих систем, оптимальное время наблюдений и необходимый астрономический комплекс. Дается краткая характеристика необходимых программ математической обработки полученных астрономических наблюдений.

В Приложениях размещены все таблицы диссертации, рисунки и графики, используемые эфемеридные формулы и применяемые методики в наблюдениях. Даны ссылки на электронные базы полученных данных.

Библиография диссертации

Библиографический список статей, монографий и первоисточников используемых в работе составляет 478 единиц.

Список литературы автореферата

-
- [1] S. Fabrika. The jets and supercritical accretion disk in SS 433.// Astrophysics and Space Physics Reviews.-2004.-vol.12.- pp.1-152.
 - [2] Шаховской Н.М., Сазонов А.Н. // 1996, Письма в “Астрон. журн.”, т.22, е 8, с.580-586.
 - [3] Фабрика С.Н. // 1984, Письма в “Астрон. журн.”, т.10, с.42-50.

- [4] Сазонов А.Н. // 1988, "Трехцветная фотометрия SS 433 = V1343 Aql в 1986-1987 гг. Астрон.циркуляр", вып. 1531.
- [5] Kuulkers1996 (Kuulkers E., van der Klis., // 1996 , *A&A*, v.314, p. 567).
- [6] Луцты (Лютый В.М., Сюняев Р.А.) // Астрон. журн. 1976. т.53. с.511.
- [7] Cowley Каули и др. (Cowley A.P., Crampton D., Hutchings J.B.) // *Astrophys.J.*1979. v.231.p.539.
- [8] Goranskii (Горанский В.П., Лютый В.М.) // Астрон. журн., 1988, т. 65, *вып. с 2*, с.385.
- [9] Sazonov A.N. // Optical Multicolor Observations of the SS 433=V 1343 Aql Microquasar; pre-print: arXiv:0907.3884;
- [10] Сазонов А.Н. Наблюдения SS 433=V1343 Aql в 1986-1990 гг.// 2010, Астрон. журн.(в печати).
- [11] Sunyaev R.A. // Physics and astrophys. of neutron stars and black holes. 1978, LXV Corso, Italy.P.697.
- [12] Трюмпер и др. (Trumper J., Kahabka P., Ogelman H. et al) // *Astrophys.J.(Letters)*. 1986. v. 300. L63.
- [13] Шеффер Е.К., Лютый В.М. // Астрон. журн.,1997,т.74,с.209.
- [14] Черепашук (Chereshchuk A.M. // 1981a,) *MNRAS* **194**,761 .
- [15] Кемп и др. (Kemp J.C., Henson G.D., Krauss D.I. et al.)// 1986, *Astrophys.J.*,v.305,p.805.
- [16] Ирсмамбетова Т.Р.// 1997,Письма в "Астрон. журн.", т.23, вып. 5,с.341-349.
- [17] Черепашук А.М.// 1989,*Sov.Sic.Rev. E.Astrophys.Space Phys.*7,183.
- [18] Черепашук А.М., Яриков С.Ф. // 1991, Письма в "Астрон. журн.", т.17,с.605.
- [19] Сазонов А.Н. // 2006, Тезисы докладов Всероссийской астрономической конференции: Тесные двойные звезды в современной астрофизике, Москва, ГАИШ МГУ, ISBN 5-9900318-3-1, с.39.
- [20] Иловайский и др. (Ilovaisky,S.A., Chevalier, C., Motch, C.,Janot-Pacheco, E.) // 1979, *I.A.U. Cir. No.* 3325.
- [21] Kuulkers1996 (Kuulkers E., van der Klis., Vaughan B.A. // 1996a , *A&A*, v.311, p. 197).
- [22] Бруевич В.В., Килячков Н.Н., Сюняев Р.А., Шевченко В.С. // Письма в "Астрон. журн.", 1978, т.4, с.292.
- [23] Кемп Дж. С., Карицкая Е.А., Кумсиашвили М.И., Лютый В.М., Хрузина Т.С., Черепашук А.М.// Астрон. журн., 1987, т.64, с.326

- [24] Friedhorsky W.C., Terrell J., Holt S.S. // *Astrophys. J.* 1983. v.270. p.233.
- [25] Cherepashchuk A.M.// 2007, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol.26, Nos. 1-3, p.35-45.