

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

---

На правах рукописи

УДК 524.354

ПАНФЁРОВ Александр Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙ ЗВЕЗД SS 433 И MWC 560

Специальность: 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 1997

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории РАН

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук  
С.Н. ФАБРИКА

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
Н.Ф. ВОЙХАНСКАЯ, САО РАН  
кандидат физико-математических наук  
Н.А. КАТЫШЕВА, ГАИШ

Ведущая организация: Казанский государственный университет

Защита состоится "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1997 г. в \_\_\_\_ часов на заседании специализированного совета Д 003.35.01 при Специальной Астрофизической Обсерватории РАН по адресу:  
357147, Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНЦ САО РАН.

Автореферат разослан "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1997г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат физ.- мат. наук

Е.К. МАЙОРОВА

## Общая характеристика работы.

*Актуальность работы.* Струи, коллимированные потоки вещества, наблюдаются у астрофизических объектов следующих классов: молодые звезды, симбиотические, рентгеновские двойные, рентгеновские транзиенты, планетарные туманности и активные галактические ядра. Струи — это одно из наиболее загадочных явлений во Вселенной.

Струи различных классов объектов сильно различаются по своим характеристикам. Несмотря на это всем им свойственно происхождение от объектов с аккреционными дисками. Однако не всегда аккреция сопровождается струйным выбросом. Можно сказать, что механизм образования струй до сих пор не понят. Важной закономерностью является то, что скорость у всех струй примерно равна параболической скорости центрального объекта, что свидетельствует о происхождении струй в центре аккреционного диска, вблизи центрального объекта. Недоступность этой области для прямых наблюдений сдерживает прогресс в понимании природы струй. Для его достижения еще требуются значительные наблюдательные и теоретические усилия.

Звездные струи являются более доступными для исследований и определения их параметров, чем струи ядер активных галактик. В этой работе исследованы струи и их источники в массивной рентгеновской двойной звезде SS 433 и в симбиотической звезде MWC 560. Струи этих объектов проявляются в спектральных линиях, которые могут быть использованы для диагностики физических условий в струях. Это уникальное качество для высокоскоростных струй. Объект SS 433 и его струи активно исследуются с 1978 г. (см. обзоры Маргона [1] и Черепашука [2]). Но до сих пор сведения о физических условиях в струях неполные и имеют противоречивый характер [3, 4]. Объект MWC 560 привлек большое внимание исследователей с 1990 г. своей необычной переменностью и присутствием в спектре высокоскоростных абсорбций водорода [5], природа которых до сих пор остается непонятной.

Струям вероятно сопутствует коллимированное излучение центрального объекта, которое направлено вдоль струй [6]. Такое излучение действитель-

но наблюдается у некоторых активных галактических ядер [7]. Актуальной задачей является обнаружение коллимированного излучения, что важно для изучения самых глубоких областей аккреционного диска, где формируются это излучение и струи. В связи с этим представляют интерес полученные в работе свидетельства коллимированного излучения в SS 433.

Вопрос о происхождении струй непосредственно связан с вопросом о природе источника. Поэтому важно знать параметры систем, которые генерируют струи, структуру аккреционных дисков, особенно в области формирования струй, связь параметров струй с параметрами аккреционных дисков. Эти мало исследованные вопросы также рассматриваются в этой диссертации. Все это обеспечивает актуальность работы.

*Целью* данной работы является определение параметров струй и их источников в SS 433 и MWC 560 на основе данных наблюдений, с привлечением методов компьютерного моделирования. В связи с этим также анализируется возможность существования коллимированного излучения в SS 433. Полученные параметры позволяют сделать важные выводы о динамическом поведении струй SS 433 и построить феноменологическую модель образования струй MWC 560.

*Научная новизна* работы заключается в следующем:

1. Впервые построена эмпирическая диаграмма направленности излучения струй SS 433. Она отражает факт динамического взаимодействия струй с окружающей средой вследствие прецессии струй.
2. Впервые получены бальмеровские декременты струй SS 433. По ним определены наиболее точные на сегодняшний день значения физических параметров облаков газа в струях. Параметры и структура облаков свидетельствуют о динамическом взаимодействии с окружающей средой и позволяют объяснить диаграмму направленности излучения струй.
3. Получены ограничения на параметры коллимированного излучения SS 433. Это излучение может быть источником нагрева облаков в струях.

4. Показано, что струи SS 433 возможно имеют иерархическую структуру.
5. Дано описание динамического поведения облаков в струях SS 433, основанное на полученных в диссертации параметрах этих струй. Впервые объясняются длина оптических струй и наличие хорошо известной по данным РСДБ [8] зоны поярчания синхротронного радиоизлучения на расстоянии  $4 \cdot 10^{15}$  см.
6. Проведен анализ изменений в затмениях профиля линии HeII  $\lambda 4686$  в спектре SS 433. Впервые определена структура газовых потоков, излучающих в линии HeII  $\lambda 4686$  в сверхкритическом аккреционном диске SS 433: излучение линии формируется в коконах вокруг оснований струй над поверхностью аккреционного диска и в потоке газа, перетекающего в диск от звезды-компаньона, переполняющей полость Роша.
7. Объяснена переменность потока в УФ-спектре MWC 560 изменением величины поглощения света в струе. Переменность скорости газа в струе приводит к изменению плотности поглощающего газа на луче зрения.
8. Впервые получены параметры горячего компонента системы MWC 560 и струи. Активность MWC 560 интерпретируются в рамках модели пропеллера, в которой магнитное поле белого карлика взаимодействует с аккрецирующим веществом. В результате образуются струи и квазисферический медленный оптически непрозрачный ветер.

Работа имеет *научно-практическую ценность*. Полученные параметры струй SS 433 и MWC 560 являются совершенно новыми, позволяющими лучше понять природу этих струй. Они могут быть использованы для сравнительного изучения струй других объектов и для построения теоретических моделей образования струй. В частности для изучения динамики и структуры струй необходимо учитывать их взаимодействие с окружающей средой вследствие прецессии струй.

Результаты по исследованию MWC 560 могут быть использованы в теории звезд-пропеллеров, которая пока далека от завершенности.

Полученные в работе результаты могут найти применение во всех астрономических учреждениях, занимающихся исследованием объектов со струями: ГАИШ, ИКИ РАН, КрАО АН Украины и др.

*На защиту* выносятся следующие результаты:

1. Результаты исследования диаграммы направленности излучения в линиях струй SS 433 в сопутствующей системе координат. Эта диаграмма одинакова для обеих струй, в ней имеется два противоположных максимума излучения, головной максимум (т.е. в сторону движения) ярче примерно в 1.7 раза, он ориентирован под углом около  $40^\circ$  к вектору скорости струи.
2. Результаты определения бальмеровских декрементов струй SS 433. Декременты оказываются равными для обеих струй, со средними значениями  $H\alpha/H\beta = 1.3$  и  $H\gamma/H\beta = 0.8$ , но они значительно различаются в разных фазах прецессии, т.е. зависят от ориентации струй.
3. Результаты определения физических параметров струй SS 433: оптическая толщина газа в линии  $H\alpha$  равна  $10^{2\div 4}$ , плотность газа  $\geq 10^{13}$  см $^{-3}$ , температура газа  $\approx 2 \cdot 10^4$  К, размер облаков  $\leq 10^8$  см, объемная скважность облаков  $\sim 10^{-6}$ , поток кинетической энергии оптической струи  $\approx 10^{39}$  эрг/с.
4. Вывод об иерархической структуре струй SS 433: облака размером  $\leq 10^8$  см сгруппированы в скопления размером около  $10^{12}$  см.
5. Результаты определения параметров горячего компонента и струй в системе MWC 560: температура горячего компонента  $\approx 2 \cdot 10^4$  К, его радиус  $\approx 5 \cdot 10^{11}$  см, длина области струи, где формируются высокоскоростные абсорбционные линии,  $\leq 2 \cdot 10^{12}$  см, поток кинетической энергии  $\approx 7 \cdot 10^{35}$  эрг/с.

*Апробация работы.* Основные результаты работы докладывались на конференции "Звездные струи" в 1991 г. (Италия), на конференции памяти В.Ф. Шварцмана в 1991 г. (САО), на конференции памяти И.С. Шкловского, С.А. Каплана и С.В. Пикельнера в 1996 г. (ГАИШ), на ежегодных конфе-

ренциях научных достижений САО в 1991, 1992 и в 1993 гг., на астрофизических семинарах обсерватории Рожен (Болгария), ГАИШ и САО.

По результатам диссертационной работы опубликовано 7 статей.

*Объем работы.* Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы из 130 наименований и приложения, содержит 26 рисунков и 9 таблиц. Общий объем диссертации 134 страниц.

### Содержание работы.

Во *Введении* приводится обоснование актуальности работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, кратко представлено содержание диссертации, и дан список работ, в которых содержатся ее основные результаты.

*Первая глава* посвящена получению и анализу интенсивностей подвижных линий водорода струй SS 433 в сопутствующей системе координат и определению бальмеровских декрементов струй.

В *п. 1.1* описывается современное состояние знаний о струях SS 433. Обращается внимание на необходимость более точных знаний физических условий в струях для понимания их происхождения. В связи с этим в этой главе исследуются абсолютные интенсивности подвижных линий. В *п. 1.2* представлены спектральные и фотометрические данные по SS 433, полученные с 1980 г. по 1990 г. Большая часть спектрального материала получена на 6-м телескопе САО Копыловым и др. [9, 10, 11, 12]. Часть спектров SS 433 (с 1988 г.) получена диссертантом.

Интенсивность как эмиссионных линий струй, так и континуального излучения является сильно переменной. Поэтому для получения абсолютных интенсивностей подвижных линий требуется корректный учет блеска объекта. В *п. 1.3* описывается методика получения абсолютных интенсивностей линий. Необходимые по этой методике потоки излучения в непрерывном спектре определялись по данным о блеске объекта в *UBVRJ*-полосах. В случае отсутствия таких данных, близких по времени получения к спектральным данным ( $\pm 0^d.5$ ), потоки аппроксимировались в зависимости от прецессионной и орбитальной фаз. Приведены формулы и графики этих

аппроксимаций. Учитывалось межзвездное поглощение излучения SS 433  $7^{m.8} \pm 0^{m.5}$  [13] и релятивистские абберации света при переводе интенсивностей излучения в сопутствующую систему координат. Данные о блеске объекта были взяты из литературы и частных источников.

Исследование зависимости интенсивности подвижных линий от фазы прецессии в *n. 1.4* выявляет эффект анизотропии излучения струй SS 433: на фазе прецессии 0.85 имеется максимум излучения у обеих струй. Равенство интенсивностей излучения обеих струй на фазах, когда струи находятся в картинной плоскости, свидетельствует об одинаковых физических условиях в обеих струях.

По кривым прецессионной зависимости интенсивности подвижных линий с помощью моделирования в *em* п. 1.5 строятся диаграммы направленности излучения струй. При этом учитываются релятивистские абберации света. Эти диаграммы оказались одинаковыми для обеих струй. Диаграмма имеет два противоположно-направленных максимума излучения, наклоненных к оси струи под углом около  $40^\circ$ . Головной максимум ярче примерно в 1.7 раза.

В *n. 1.6* получаются бальмеровские декременты. Их прецессионная зависимость аналогична прецессионной зависимости абсолютных интенсивностей подвижных линий. Декременты равны для обеих струй. Средние значения декрементов —  $H\alpha/H\beta = 1.3$  и  $H\gamma/H\beta = 0.8$  — свидетельствуют о высокой плотности газа ( $n_e > 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ), излучающего в струях.

Во *Второй главе* на основании результатов первой главы исследуются физические условия в струях SS 433.

В *n. 2.1* бальмеровские декременты струй сравниваются с результатами радиационных расчетов Дрэйка и Улрича [14], выполненных для случая высоких плотностей, соответствующих наблюдаемым декрементам. Получены следующие параметры: плотность газа  $\geq 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , его температура  $\approx 2 \cdot 10^4 \text{ К}$ , размер облаков  $\leq 10^8 \text{ см}$ , объемная скважность облаков в струях  $\sim 10^{-6}$ , поток кинетической энергии в одной струе  $\approx 10^{39} \text{ эрг/с}$ . Эти параметры впервые получены по бальмеровским декрементам и являются наиболее точными из существующих в литературе. Параметры облаков близки к расчетным, полученным Бринкманном и др. [4] в модели тепловой неустойчивости



в струях SS 433.

В *п. 2.2* рассматривается структура оптических струй (участок от  $2 \cdot 10^{14}$  см до  $3 \cdot 10^{15}$  см). На основании наблюдательных данных о структурности профилей подвижных линий и о фотометрической переменности объекта, связываемой со струями, показано, что облака размером  $\approx 10^8$  см распределены в струях скоплениями с характерным размером  $10^{12}$  см. Это позволяет говорить об иерархичной структуре струй SS 433.

В *п. 2.3* обсуждается динамика облаков в струях. Так как струя прецессирует, то существует зона выметания на расстоянии до  $3 \cdot 10^{15}$  см, в пределах которой струя пробивается сквозь газ мощного ветра, истекающего с темпом  $10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$  из аккреционного диска. В пределах зоны выметания расширение облаков сдерживается динамическим давлением налетающего газа. Эта модель объясняет наблюдаемую длину оптической струи, факт анизотропии излучения струй и диаграмму направленности этого излучения. Согласно этой модели диссипация кинетической энергии струй является одним из источников нагрева струй. Подчеркивается, что уникальность субрелятивистских оптических струй SS 433 (факт продолжительного излучения в оптических линиях) обусловлена прецессией струй. В рамках такой динамической модели струи объясняется наличие известной из РСДБ наблюдений зоны поярчания синхротронного радиоизлучения: после выхода из зоны выметания на расстоянии от  $3 \cdot 10^{15}$  см до  $4 \cdot 10^{15}$  см облака расширяются, заполняя весь объем струи, что приводит к эффективной генерации релятивистских частиц на фронтах ударных волн и в результате к поярчанию радиоизлучения на расстоянии  $4 \cdot 10^{15}$  см. Таким образом эта модель объединяет разрозненные до того факты и дает понимание эволюции струи с расстоянием.

В *п. 2.4* проверяется гипотеза о коллимированном излучении в SS 433. Одним из наиболее важных вопросов в физике струй является энергетика струй. Предполагается, что тепловой баланс в облаках оптических струй SS 433 может регулироваться коллимированным излучением воронок аккреционного диска. В рамках этого предположения моделируются профили подвижной линии  $\text{H}\alpha^-$ . Из моделирования следует, что существование коллимированного излучения в SS 433 согласуется с наблюдаемыми профилями

подвижных линий. Получены параметры коллимированного излучения: рас-  
твор конуса коллимации  $> 14^\circ$ , светимость  $> 3 \cdot 10^{39}$  эрг/с.

В *Третьей главе* приводятся результаты наблюдений SS 433 в затмениях  
в 1986 и 1988 гг. Дан анализ структуры газовых потоков в линиях HeII  $\lambda 4686$   
и H $\beta$ .

Для понимания природы струй не менее важными являются знания о  
центральной объекте, который генерирует струи. В *п. 3.1* рассмотрены на-  
блюдательные проявления сверхкритического аккреционного диска в SS 433,  
с которым связано происхождение струй. Из наблюдений следует, что обла-  
сти образования стационарных эмиссионных линий SS 433 затмеваются  
”нормальной” звездой. С целью изучения структуры аккреционного диска  
были осуществлены наблюдения SS 433 в затмениях в кооперации несколь-  
ких обсерваторий. Описание спектральной части и краткие результаты фо-  
тометрической части этих наблюдений приведены в *п. 3.2*.

По результатам кооперативных наблюдений в *п. 3.3* анализируется  
поведение профилей стационарных линий HeII  $\lambda 4686$  и H $\beta$  в затмении.  
Оказалось, что линию HeII можно разделить на два компонента с раз-  
ными областями формирования: широкий двугорбый компонент, который  
испытывает полное затмение на фазе 0, и узкий гауссов компонент, кото-  
рый затмевается ”нормальной” звездой на более поздних фазах. Линия H $\beta$ ,  
как и гауссов компонент линии HeII, испытывает затмение на более позд-  
них фазах, причем затмение частное. Получены относительные размеры  
областей формирования излучения в линии HeII  $\lambda 4686$  и H $\beta$ .

В *п. 3.4* дана интерпретация результатов анализа профилей линий. Ши-  
рокий двугорбый компонент линии HeII  $\lambda 4686$  не может быть образован  
в диске. Он образуется вдоль струй в двух противоположно направленных  
горячих потоках газа — коконах, — движущихся со скоростью около 1500  
км/с. Узкий гауссов компонент линии HeII и линия H $\beta$  образуются в аккре-  
ционном потоке от ”нормальной” звезды в диск. Параметры коконов могут  
быть использованы для изучения физических условий у оснований струй,  
излучающих в рентгеновском диапазоне.

*Четвертая глава* посвящена описанию мониторинга активности MWC 560.

В *п. 4.1* описываются свойства необычной симбиотической MWC 560.

Необычными являются как переменность блеска на разных масштабах времени, так и вид спектра с сильными высокоскоростными (до  $-6000$  км/с) абсорбциями H I, He I и металлов низкого возбуждения. В связи с актуальной задачей объяснить их происхождение и активность объекта на 6-м телескопе САО был осуществлен спектральный мониторинг MWC 560 с 1990 по 1993 гг. В *п. 4.2* представлены наблюдения. Помимо слежения на больших временах, проводились исследования быстрой спектральной переменности на временах от  $10^m$  и более. В результате этого мониторинга было получено описание вида спектра в 1990–1993 гг. Постоянно присутствуют высокоскоростные абсорбции, они переменные на масштабе времени  $< 1^d$ , обнаружена также переменность на временах около 3 часов. Обнаружена переменная эмиссия в красном крыле линии H $\alpha$  — проявление контр-струи. В общем, в исследуемый период MWC 560 находилась в пассивном состоянии, когда абсорбции имели лишь небольшую суточную переменность, в отличие от активного состояния весной 1990 г., когда наблюдалась сильная переменность абсорбций [5]. Все данные наблюдений согласуются с представлением об истечении вещества в MWC 560 в струях. Направление струй близко к лучу зрения.

В *п. 4.3* анализ корреляций между скоростью в абсорбциях и блеском системы выявляет, что при уменьшении скорости УФ-блеск падает. Так как перераспределение энергии в оптическом спектре не наблюдалось, то поглощающий газ является оптически толстым только в направлениях близких к лучу зрения, что соответствует модели струйного истечения. Следовательно физические условия в струе могут влиять на вид УФ спектра MWC 560 и их переменностью можно объяснить переменность УФ спектра. В главе 5 это также показывается с помощью моделирования спектра объекта.

В *Пятой главе* с помощью моделирования непрерывного спектра MWC 560 объясняется природа горячего компонента системы и его активность. Получены параметры горячего компонента и струй.

В *п. 5.1* рассматриваются разные интерпретации свойств MWC 560. Наиболее обоснованной является модель, согласно которой в системе происходит аккреция на магнитный белый карлик. Взаимодействие магнитного

поля с аккрецирующим веществом приводит к образованию струй и объясняет переменность звезды. Далее эта модель согласовывается с наблюдениями и получает количественное обоснование.

В *п. 5.2* осуществляется моделирование непрерывного спектра системы. В качестве моделей горячего компонента системы рассмотрены модели геометрически тонкого аккреционного диска и сферы с чернотельным излучением. Холодным компонентом системы является гигант М4–М5. Данные о блеске объекта получены из литературы. При моделировании непрерывного спектра учтено также поглощение в струе. Модели очень хорошо согласуются с наблюдаемым спектром. В результате моделирования получены параметры горячего компонента в обеих моделях. Светимость горячего компонента оказывается около  $10^{37}$  эрг/с и мало различается в активном и пассивном состояниях объекта. Параметры поглощающей области струи, полученные из моделирования: температура газа  $\approx 8000$  К, колонковая плотность водорода (атомы+протоны)  $3\text{--}6 \cdot 10^{23}$  см $^{-2}$ , средняя плотность водорода  $\approx 5 \cdot 10^{11}$  см $^{-3}$ . В пассивном периоде колонковая плотность выше и этим объясняется уменьшение интенсивности УФ-излучения в этот период.

С физической точки зрения модель аккреционного диска оказывается хуже, чем модель сферы: внутренний радиус аккреционного диска должен быть порядка радиуса нормальных звезд, а темп аккреции должен быть около  $10^{-4} M_{\odot}$ /год. В *п. 5.3* обсуждается модель сферы с чернотельным излучением, которая реально представляет фотосферу мощного ветра, образующегося в результате взаимодействия сильного магнитного поля белого карлика с веществом, аккрецируемом на магнитосферу. Фотосфера имеет температуру  $\approx 20000$  К и радиус  $5 \cdot 10^{11}$  см, темп истечения вещества в ветре  $\approx 2.5 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$ /год. Часть вещества на магнитосфере может попадать на поверхность белого карлика вследствие неустойчивостей магнитного поля и таким образом обеспечивать наблюдаемую светимость объекта. Модель пропеллера в MWC 560 позволяет объяснить как природу горячего компонента в спектре и его фликкеринг, так и наличие струй. Состояние активности объекта в такой модели зависит от темпа поступления на магнитосферу вещества из ветра гиганта, при этом нет необходимости предполагать переходы белого карлика из режима пропеллера в режим аккретора.

В *n. 5.4* получаются параметры струй MWC 560 из прямых оценок на основе наблюдательных данных. Средняя степень ионизации в струях в пассивный период  $\geq 0.3$ , что соответствует температуре газа  $\geq 7000$  К. Колонковая электронная плотность в струях  $\geq 1.5 \cdot 10^{23}$  см<sup>-2</sup>. Эти параметры согласуются с параметрами струи из моделирования. На основании данных о лучевых скоростях эмиссионных линий фотосферы получена величина полураствора струи  $\approx 20^\circ$ . Величины потоков массы и кинетической энергии в струе MWC 560 равны  $\approx 6 \cdot 10^{-7} M_\odot/\text{год}$  и  $\approx 7 \cdot 10^{35}$  эрг/с соответственно. Отношение кинетической светимости струй (потока кинетической энергии) к болометрической светимости их источника равно  $\approx 0.07$ . В случае сферически симметричного истечения вещества это отношение превысило бы 1, что тяжело согласовать с какой-либо моделью ускорения газа. Это независимо свидетельствует, что истечения газа в MWC 560 происходит в виде струй.

В *заключении* кратко сформулированы основные выводы диссертационной работы.

В *приложении* даны таблицы с журналами наблюдений SS 433 и MWC 560 и параметры подвижных линий SS 433.

#### Список литературы.

- [1] Margon B. Observations of SS 433. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 507–536, 1984.
- [2] Черепашук А.М. Данные фотометрических наблюдений SS 433 и их интерпретация. — в кн. *Итоги науки и техники. Сер. Астрономия*. М., ВИНТИ, **38**, 60–120, 1988.
- [3] Фабрика С.Н., Борисов Н.В. Параметры струй SS 433. Интерпретация результатов. *Письма в Астрон. журн.*, **13**, 663–670, 1987.
- [4] Brinkmann W., Fink H.H., Massaglia S., Bodo G., Ferrari A. The thermal evolution of the jets in SS 433. *Astron. Astrophys.*, **196**, 313–326, 1988.

- [5] Tomov T., Kolev D., Georgiev L., Zamanov R., Antov A., Bellas Y. MWC 560 — a unique astrophysical object. *Nature*, **346**, 637–638, 1990.
- [6] Madau P. Thick accretion disks around black holes and the UV/soft X-ray excess in quasars. *Ap.J.*, **327**, 116–127, 1988.
- [7] Wilson A.S., Tsvetanov Z.I. Ionization cones and radio ejecta in active galaxies. *Astron. J.*, **107**, 1227–1234, 1994.
- [8] Vermeulen R.C., Schilizzi R.T., Icke I., Fejes I., Spencer R.E. Evolving radio structure of the binary star SS 433 at a resolution of 15 marss. *Nature*, **328**, 309–312, 1987.
- [9] Копылов И.М., Кумайгородская Р.Н., Сомова Т.А. Спектр SS 433 в стадии вспышечной активности (июль 1980). *Астрон. журн.*, **62**, 323–338, 1985.
- [10] Копылов И.М., Кумайгородская Р.Н., Сомов Н.Н., Сомова Т.А., Фабрика С.Н. О быстрой спектральной и фотометрической переменности SS 433. *Астрон. журн.*, **63**, 690–701, 1986.
- [11] Копылов И.М., Кумайгородская Р.Н., Сомов Н.Н., Сомова Т.А., Фабрика С.Н. О характере переменности спектра SS 433 с 6-дневным периодом (июнь-август 1981 г.) *Астрон. журн.*, **64**, 785–802, 1987.
- [12] Копылов И.М., Бычкова Л.В., Фабрика С.Н., Кумайгородская Р.Н., Сомова Т.А. Переменность спектральных линий SS 433 с орбитальным периодом. *Письма в Астрон. журн.*, **15**, 1092–1101, 1989.
- [13] Черепашук А.М., Асланов А.А., Корнилов В.Г. WBVR-фотометрия SS 433: спектр нормальной звезды и аккреционного диска. *Астрон. журн.*, **59**, 1157–1166, 1982.
- [14] Drake S.A., Ulrich R.K. The emission-line spectrum from a slab of hydrogen at moderate to high densities. *Ap.J. Suppl.*, **42**, 351–383, 1980.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Панфёров А.А., Фабрика С.Н. Коллимированное излучение SS 433. Моделирование профилей подвижных линий. Письма в Астрон. журн., **19**, 104–113, 1993.
2. Панфёров А.А., Фабрика С.Н., Бычкова Л.В. Analysis of Balmer line intensities and radiation non-isotropy of SS433 jets. In *Stellar Jets and Bipolar Outflows*, eds. L. Errico, A.A. Vittone, Kluwer, 197–202, 1993.
3. Панфёров А.А., Фабрика С.Н., Рахимов В.Ю. Оптические струи SS 433. Анизотропия излучения струй. Препринт САО, **109**, 3–25, 1995; Астрон. Ж., **74**, N2, 1997, принято к печати.
4. Панфёров А.А., Фабрика С.Н. Оптические струи SS 433. Физические параметры струй. Препринт САО, **109**, 26–41, 1995; Астрон. журн., **74**, N2, 1997, принято к печати.
5. Фабрика С.Н., Панфёров А.А., Бычкова Л.В., Рахимов В.Ю. Структура сверхкритического аккреционного диска SS 433. Препринт САО, **120/1**, 1997; Бюлл. САО, **43**, 1997, принято к печати.
6. Горанский В.П., Фабрика С.Н., Рахимов В.Ю., Панфёров А.А., Белов А.Н., Бычкова Л.В. Оптические наблюдения SS 433 во время затмений: структура аккреционного диска. Астрон. журн., 1997, принято к печати.
7. Панфёров А.А., Фабрика С.Н., Томов Т. Спектроскопия MWC 560. Параметры системы, горячего источника и струй. Препринт САО, **120/2**, 1997; Бюлл. САО, **43**, 1997, принято к печати.

Бесплатно

А.А. Панфёров

Исследование струй звезд SS 433 и MWC 560



Этот текст был сформатирован с использованием L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, русифицированного в  
лаборатории S<sup>T</sup>R<sup>U</sup>C<sup>T</sup>U<sup>R</sup>E © 1993