

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Соболева Андрея Владимировича  
«Структура магнитогидродинамических течений в полярах»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
1.3.1. Физика космоса, астрономия

**Актуальность темы диссертации.** Диссертация посвящена теоретическому исследованию эволюции полярных – класса тесных двойных систем, в которых перетекание вещества с заполнившего свою полость Роша красного карлика (донора) на компактный компонент (аккректор) характеризуется формированием не аккреционного диска, а коллимированной струи газа, что обусловлено взаимодействием потока плазмы с сильным магнитным полем аккректора. Падение вещества струи на аккректор приводит к образованию горячих пятен на его поверхности, излучение которых может влиять на тепловую структуру и светимость системы. Наблюдаемые кривые блеска полярных демонстрируют сложное поведение, которое складывается из периодических колебаний и нерегулярных изменений блеска на различных временных масштабах. Удаленность объектов не позволяет непосредственно наблюдать детали течения в этих системах и определять их характеристики. В связи с этим, теоретическое моделирование процессов массопереноса в полярах, которому посвящена диссертация А.В. Соболева, является актуальной задачей. Важно отметить, что наличие сильного магнитного поля у аккректора может существенно влиять на процесс аккреции, что обуславливает необходимость решения самосогласованных уравнений магнитной газодинамики (МГД).

**Содержание диссертации и оценка его соответствия заявленной специальности.**

Во введении описываются наблюдаемые свойства тесных двойных систем и, в частности, полярных. На основе анализа современного состояния исследований формулируются актуальность и новизна задачи, цель и задачи, а также практическая и теоретическая значимость работы.

В первой главе описываются оригинальные физическая и математическая МГД-модели полярных, разрабатываемые в Институте астрономии РАН, в том числе при участии А.В. Соболева. Подчеркиваются отличительные особенности модели – учет взаимодействия плазмы с магнитным полем аккректора, турбулентной диффузии, процессов нагрева и охлаждения, влияния излучения горячих пятен на полный поток излучения системы. Все положения модели обосновываются с помощью количественных оценок. Детально

описывается используемая разностная схема Роу-Эйнфельда-Ошера, которая является одной из лучших схем для моделирования МГД-течений. Описываются разработанные автором диссертации алгоритмы построения карт распределения температуры белого карлика и кривых блеска системы на основе результатов МГД-расчетов.

Во второй главе представлены анализ наблюдательных данных о синхронном поляре V808 Aur и результаты МГД-расчетов эволюции этой системы при параметрах, соответствующих наблюдаемым. На основе анализа наблюдений продемонстрировано, что поляр имеет четыре различных состояния светимости в зависимости от величины темпа аккреции. Кривые блеска в рентгеновском диапазоне указывают на присутствие двух разогретых областей различной температуры на поверхности аккректора. Отмечается, что более горячее пятно смещается в процессе эволюции системы. Расчеты эволюции системы проведены для четырех состояний, соответствующих различным значениям темпа аккреции. На основе расчетов проанализированы структура струи и положения горячих пятен на поверхности аккректора в зависимости от темпа аккреции.

Третья глава посвящена описанию наблюдательных данных об асинхронном поляре CD Ind и результатов расчетов эволюции этого объекта. Из наблюдений следует, что поляр характеризуется коротким периодом биений и наличием смещенного относительно центра аккректора дипольного магнитного поля. В главе представлены результаты моделирования системы на протяжении одного периода биений. Исследован дрейф горячих пятен на поверхности аккректора в пределах периода биений. На основе расчетов построены болометрические и оптические синтетические кривые блеска системы и проанализирован вклад поглощения излучения в окружающем систему газе.

В четвертой главе представлены результаты расчетом эволюции поляра CD Ind на длительных промежутках времени, с учетом асинхронного вращения аккректора, что позволяет проследить полную картину формирования и дрейфа горячих пятен в процессе «переключения» струи с северного магнитного полюса аккректора на южный и обратно. С помощью моделирования исследованы изменения темпа аккреции в процессе эволюции системы. Проанализированы картина течения и кривые блеска систем при различных предположениях о смещении магнитного диполя относительно центра аккректора.

Вышеперечисленные теоретические исследования магнитной газодинамики процессов переноса вещества в полярах и связанных с ними эффектах переменности излучения данных систем, составляющие содержание диссертации, полностью соответствуют заявленной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Автором диссертации разработан оригинальный алгоритм построения карт температуры поверхности аккректора и кривых блеска системы. Алгоритм использует информацию о динамической и тепловой структуре течения, которая рассчитывается с помощью трехмерной численной МГД-модели переноса вещества в тесных двойных системах. В диссертации структура течения в синхронном полярном V808 Aur и асинхронном полярном CD Ind впервые промоделирована в реалистичной трехмерной постановке задачи с учетом сильного магнитного поля аккректора, турбулентной диффузии, эффектов нагрева и охлаждения, вклада горячих пятен на поверхности аккректора в поток излучения системы.

С помощью моделирования системы V808 Aur впервые показано, что переменность темпа аккреции на поляр приводит к смещению положения горячих пятен на его поверхности. Этот результат согласуется с наблюдательными кривыми блеска системы.

На основе моделирования асинхронного полярного CD Ind впервые сделан вывод о том, что асинхронное вращение аккректора обуславливает переключение аккреционной струи с одного полюса аккректора. Нерегулярный характер аккреции приводит к дрейфу горячих пятен, который может достигать 20 градусов по долготе и 15 градусов по широте.

Разработана новая методика определения смещения магнитного диполя аккректора, основанная на анализе кривых блеска полярного и сравнении отношения светимостей горячих пятен на поверхности аккректора. Данная методика представляет интерес для новых наблюдательных и теоретических исследований полярных звезд.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.** Достоверность представленных результатов подтверждается использованием хорошо разработанных и апробированных современных численных методов решения уравнений МГД. Все сформулированные выводы работы убедительно обосновываются на основе детального анализа физики рассматриваемых явлений и сравнения с наблюдательными данными.

Основные результаты диссертации апробированы на многочисленных всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 6 статьях в ведущих российских и мировых рецензируемых научных журналах.

**Теоретическая и практическая значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Теоретическая значимость научных положений диссертации состоит в развитии теории эволюции тесных двойных звезд. Практическая значимость заключается в возможности применения результатов для интерпретации

наблюдений полярных и оценок их характеристик. Результаты диссертации могут представлять интерес для астрофизиков и астрономов СПбГУ, Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, Государственного астрономического института им. Штернберга МГУ, Коуровской астрономической обсерватории УрФУ и других астрономических организаций, в которых проводятся исследования тесных двойных звезд.

**Соответствие автореферата диссертации ее содержанию.** Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. В автореферате сформулированы и обоснованы цель и задачи диссертации, описано содержание диссертации по главам, приведены основные результаты работы, отмечены публикации автора.

**Недостатки и замечания по диссертации.**

1. В первой главе выбрано неудачное расположение основных формул и таблиц, которое затрудняет чтение текста. Например, на странице 28 указывается, что кривые блеска на рисунке 1.1 рассчитаны по формулам (1.40) и (1.60), хотя сами формулы приведены только на странице 47. При описании таблицы 1.1 не указано, по каким формулам проводились оценки. На странице 31 обсуждается таблица 1.3, которая приведена только на странице 40. На странице 32 указывается, что величины  $\alpha_{bf}$  и  $h_s$  рассчитываются по формулам (1.22) и (1.8), которые приведены лишь на страницах 39 и 36 соответственно. На странице 33 автор ссылается на формулы (1.84-1.85), которые первый раз появляются на странице 61.
2. С учетом того, что разностная схема, используемая для расчетов, разработана и реализована не автором диссертации, ее описание в главе 1 представляется чрезмерно подробным. Кроме того, нигде в диссертации не приведены количество ячеек и значения параметров сжатия  $q_L$  и  $q_R$  расчетной сетки, которые были использованы в расчетах.
3. На стр. 52 утверждается, что «Для полярных единственным существенным источником диффузии магнитного поля является волновая МГД турбулентность». Данный вывод следовало подкрепить численными оценками в сравнении с другими диффузионными эффектами или по крайней мере – ссылками на работы, где эти оценки проделаны.
4. Автору следовало обсудить обнаруженные особенности структуры течения в исследуемых системах с предсказаниями моделей других авторов, на которых он в том числе ссылается во введении. Например, выполнить сравнение с результатами моделирования системы CD Ind, опубликованными в работе [56] из списка литературы.

Указанные замечания не затрагивают основные положения и выводы работы, не снижают ее значимости и не влияют на общую высокую положительную оценку работы.

**Заключение.** Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Соболев Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

**Официальный оппонент:**

Кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник кафедры  
гидроаэромеханики федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет».

 Хайбрахманов С.А.

«29» марта 2024 г.

199034, Санкт-Петербург, Университетский пр., 28  
Тел. +7 (812) 363-63-41  
E-mail: [s.khaybrakhmanov@spbu.ru](mailto:s.khaybrakhmanov@spbu.ru)

Личную подпись  
*С.А. Хайбрахманов*  
заверю  
И.О. начальника отдела кадров Физ  
И.И. Константинова  
*И.И. Константинова*



Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.html>

Документ подготовлен  
в порядке исполнения  
трудовых обязанностей