


УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Института астрономии
Российской академии наук
проф. РАН, д.ф.-м.н. Сачков М. Е.
"28" сентября 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, в которой выполнена диссертация

Выписка из протокола Астрофизического семинара Института астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) от 28 февраля 2022 г. Присутствовали 38 научных сотрудника, в том числе:

к.ф.-м.н. В. В. Акимкин, д.ф.-м.н. Д. В. Бисикало, д.ф.-м.н. А. Г. Жилкин, д.ф.-м.н. Д. З. Вибе, к.ф.-м.н. С. В. Верещагин, к.ф.-м.н. Д. А. Ковалева, д.ф.-м.н. А. Э. Пискунов, д.ф.-м.н. Т. А. Рябчикова, д.ф.-м.н. Н. Н. Самусь, к.ф.-м.н. М. С. Кирсанова, к.ф.-м.н. М. А. Ибрагимов, к.ф.-м.н. О. В. Кочина, к.ф.-м.н. А. П. Топчиева, д.ф.-м.н. Я. Н. Павлюченков, д.ф.-м.н. А. В. Тутуков, д.ф.-м.н. А. С. Расторгуев, д.ф.-м.н. Б. М. Шустов, к.ф.-м.н. М. С. Молярова, д.ф.-м.н. Л. И. Машонкина, к.т.н. А. А. Ключков, к.ф.-м.н. А. П. Карташова, к.ф.-м.н. Ю. В. Пахомов, к.ф.-м.н. Е. А. Корицкая, д.ф.-м.н. Н. Г. Бочкарев, д.ф.-м.н. М. В. Барков, к.ф.-м.н. О. Б. Длужневская, к.ф.-м.н. С. А. Нароенков, к.ф.-м.н. П. В. Кайгородов, д.ф.-м.н. Ю. А. Фадеев, д.ф.-м.н. И. С. Саванов, д.ф.-м.н. В. И. Шематович, д.ф.-м.н. В. В. Емельяненко, д.ф.-м.н. В. В. Шувалов, к.ф.-м.н. М. С. Мурга, д.ф.-м.н. О. Ю. Малков, д.ф.-м.н. Л. Р. Юнгельсон, д.ф.-м.н. Е. В. Поляченко, д.ф.-м.н. Н. Н. Чугай.

Слушали: доклад А. В. Соболева о диссертации «Структура магнитогидродинамических течений в полярах», представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

Соболев Андрей Владимирович, род. 11.08.1975, в 2009 г. окончил Российскую экономическую академию им. Г. В. Плеханова и получил степень специалиста по направлению «Информационные системы в экономике». В период 2017 - 2022 гг. проходил обучение в аспирантуре ИНАСАН. Работает в ИНАСАН в отделе Программного обеспечения и вычислительной техники с октября 2022 г. младшим научным сотрудником по настоящее время. Научным руководителем является д.ф.-м.н. Жилкин Андрей Георгиевич, ведущий научный сотрудник Отдела физики и эволюции звезд ИНАСАН.

По итогам обсуждения диссертации «Структура магнитогидродинамических течений в полярах» принято следующее заключение:

Актуальность. Исследование структуры МГД течений в тесных двойных системах (ТДС) представляет собой сложную задачу, поскольку в случае наклонённой оси магнитного диполя по отношению к оси орбитального вращения двойной звезды структура течения становится существенно трёхмерной. Несмотря на сложность моделирования в такой постановке, эта задача представляет значительный научный интерес, поскольку все наблюдаемые явления в полярах обусловлены аккрецией вещества на один из компонентов. Поскольку компактный объект обладает собственным магнитным полем, аккреция вещества не него приводит к ряду дополнительных наблюдаемых проявлений. К ним можно отнести излучение из области аккреционных колонок, переменность, связанную с образованием горячих пятен на поверхности аккретора, высокочастотные квазипериодические осцилляции рентгеновского излучения и многие другие. Изучение этих явлений является важной задачей как для наблюдателей, так и для теоретиков.

Другим важным моментом в исследовании полярных явлений является трудность непосредственного наблюдения элементов течения в таких системах в силу их значительной удалённости от наблюдателя и малых угловых размеров. Получаемые наблюдательные данные имеют интегральный характер, поэтому они не могут быть интерпретированы без привлечения предварительных теоретических предположений о пространственной структуре течения вещества. Данные предположения строятся на физических моделях, чем и определяется их важность.

С другой стороны, физические модели включают в себя независимые параметры, значения которых не могут быть определены без привлечения данных наблюдений. Таким образом, построение детальной картины течения в полярах и промежуточных полярах невозможно без тесного взаимодействия наблюдателей и теоретиков.

Численное моделирование структуры течения в магнитных тесных двойных системах начало проводиться ещё в начале 1990-х годов. Из-за высокой сложности проблемы эти исследования имели ряд ограничений и упрощений. Одним из первых для решения данной задачи использовался метод квазичастиц. Было показано, что структура течения в промежуточных полярах, в зависимости от конфигурации магнитного поля, может включать как аккреционный диск, аналогичный дискам в немагнитных катаклизмических переменных, так и удерживаемые магнитным полем аккреционные потоки. Однако в этих расчетах не учитывался ряд важных эффектов, таких как влияние газового и магнитного давлений, процессы нагрева-охлаждения, генерация магнитного поля в диске и другие.

Аккреционные процессы в магнитосфере белого карлика изучались более тщательно. Эти исследования позволили детально изучить структуру потока в области магнитосферы белого карлика, где магнитное поле играет доминирующую роль. Однако вычислительная область модели включала лишь небольшую окрестность звезды-аккретора, поэтому получить полную картину течения вещества в ней не удалось.

Другим подходом к моделированию структуры потока в полярах является гидродинамика сглаженных частиц (SPH). В рамках данного подхода диск

рассматривался как совокупность частиц с заданными свойствами, а вариации параметров частиц определялись внешними силами, действующими на частицы. В частности, введение дипольного магнитного поля в SPH-код, свойственного звезде-аккретору, также учитывалось в качестве внешней силы, сообщающей ускорение тестовым частицам диска. Однако рассматриваемые величины напряжённости магнитного поля соответствовали начальным промежуточным полярам. При более сильном поле применяемая модель становилась менее описательной и требовала внедрения МГД-кода. Кроме того, метод SPH обладает малым разрешением, поскольку недостаточно подробно воспроизводит сильные разрывы по плотности (ударные волны), в результате чего решение получается смазанным.

Представленный в диссертации подход к описанию структуры течения в полярах с помощью самосогласованной трёхмерной численной МГД модели позволяет устранить указанные выше недостатки применявшихся ранее методов. В модели используется полная система уравнений магнитной гидродинамики, позволяющая описать все основные динамические эффекты, связанные с магнитным полем: процессы радиационного нагрева и охлаждения, диффузию магнитного поля за счет диссипации токов в турбулентных вихрях, магнитную плавучесть и волновую МГД турбулентность. Так как расчётная область модели включает в себя полости Роша донора и аккретора, то формирование и последующая эволюция аккреционного потока происходят естественным образом в результате процесса массопереноса вещества через внутреннюю точку Лагранжа, что позволяет получить полную картину течения и аккреции. Кроме того, представляемая модель способна учесть некоторые дополнительные эффекты, связанные с наличием в полярах магнитного поля сложной конфигурации.

Научная новизна. Численное моделирование структуры течения в синхронных и асинхронных полярах в рамках трёхмерной МГД в самосогласованной постановке задачи ранее никем не проводилось. В применяемой численной модели поток вещества из оболочки звезды-донора задается не из граничных условий, а формируется естественным путем в результате переполнения полости Роша. Поэтому в рамках такой модели оказывается возможным исследование влияния магнитного поля на сам процесс формирования аккреционного потока.

При исследовании структуры течения в асинхронных полярах основное внимание уделяется изучению эффектов, связанных с перестройкой структуры аккреционного потока в течение периода биений. В частности, детально исследуется процесс переключения магнитных полюсов.

Научная и практическая значимость. Полученные в диссертации результаты важны для понимания физики процессов массообмена и аккреции в полярах, которые недоступны для непосредственного изучения при наблюдении в силу значительной удалённости и малых угловых размеров рассматриваемых двойных систем. Эти результаты могут служить основой для интерпретации наблюдательных

данных полярных, поэтому подходят для прямого применения в действующих астрофизических обсерваториях.

Степень достоверности полученных результатов. Достоверность представленных в диссертационной работе результатов исследования структуры течения в полярах обеспечивается применением хорошо обоснованных теоретических моделей, устойчивостью и сходимостью использованной разностной схемы, сравнением с имеющимися данными наземных и космических наблюдений и обсуждением полученных результатов на конференциях и семинарах. Основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад соискателя. Соискатель в равной степени участвовал в постановке задач. Им выполнены численные расчёты, по их результатам получены трехмерные картины структуры течения, построены карты распределения температуры по поверхности аккретора. Разработанное соискателем программное обеспечение позволило на основе данных численного расчёта синтезировать кривые блеска двойных систем, а также сделать оценку темпа аккреции для обоих магнитных полюсов белого карлика. Эти синтетические данные представляют собой материал для сравнения модельных и наблюдательных характеристик исследуемого объекта. Также соискатель активно участвовал в написании статей, в которых изложены результаты проведённого исследования.

Все положения, выносимые на защиту, должным образом аргументированы и изложены в 8 работах, 6 из которых опубликованы в журналах из списка журналов, рекомендованных ВАК.

По представленному докладу на семинаре ИНАСАН были заданы следующие вопросы:

А. В. Тутуков. Об учёте изменений в структуре течения в полярах на больших масштабах времени.

Ю. А. Фадеев. О параметрах ориентации магнитной оси белого карлика в рассмотренных полярах.

Б. М. Шустов. О содержании положений, выносимых на защиту.

А. С. Расторгуев. О величине возмущённой компоненты магнитного поля белого карлика.

Докладчик ответил на все поставленные вопросы.

Участники Астрофизического семинара ИНАСАН считают, что представленная диссертация является завершённой научно-исследовательской работой, уровень которой полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация Соболева Андрея Владимировича «Структура магнитогидродинамических течений в полярах» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

Заключение принято на заседании Астрофизического семинара Института астрономии РАН 28 сентября 2022 г.. Присутствовало на заседании 38 чел. Результаты голосования: «за» - 38 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол №6 от 28 сентября 2022 г.

Секретарь Астрофизического семинара ИНАСАН к.ф.-м.н. В. В. Акимкин



Ученый секретарь ИНАСАН к.ф.-м.н. А. М. Фатеева

