

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по научной работе
ФГБОУ ВО «Челябинский
государственный университет»,
кандидат химических наук,

доцент

Бирюков Александр Игоревич

« 10 » 10 2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Челябинский государственный университет»**

Диссертация «Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвездных дисков» выполнена на кафедре общей и теоретической физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»).

В период подготовки диссертации Наталья Сергеевна Каргальцева работала в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», преподавателем кафедры общей и теоретической физики с 2017 года и младшим научным сотрудником кафедры общей и теоретической физики с 2024 года. В 2014 г. соискатель окончила ФГБОУ ВО «ЧелГУ» по направлению подготовки «03.03.02 Физика» с присвоением квалификации «Бакалавр», в 2016 г. окончила ФГБОУ ВО «ЧелГУ» по направлению подготовки «03.03.02 Физика» с присвоением квалификации «Магистр». В 2021 г. соискатель окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «ЧелГУ» по направлению подготовки «03.06.01 Физика и

Н. С. Вардугина

астрономия» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 02.03.2023 №06-23 федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Челябинский государственный университет».

Тема кандидатской диссертации «Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвездных дисков» утверждена решением Ученого совета ФГБОУ ВО «ЧелГУ» от 21.12.2017, протокол № 08.

Научный руководитель – Хайбрахманов Сергей Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей и теоретической физики ФГБОУ ВО «ЧелГУ».

По итогам обсуждения принято следующее заключение: диссертационная работа Н.С. Каргальцевой, посвященная численному моделированию коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков в широком диапазоне начальных параметров с помощью двумерного магнитогазодинамического (МГД) кода Enlil, соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Достоверность результатов подтверждается тем, что в работе используются современные апробированные численные методы. Результаты расчетов в предельных случаях согласуются с предсказанием аналитических моделей и результатами других авторов. Основные результаты и выводы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях, и описаны в рецензируемых научных статьях.

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии теории остаточного магнитного поля. Результаты, представленные в диссертации, вносят вклад в решение проблем углового момента и магнитного потока. В частности, исследование начальных стадий коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков является ключевым для решения проблемы катастрофического магнитного торможения.

Практическая значимость заключается в возможности применения результатов расчетов для интерпретации наблюдательных данных о ядрах молекулярных облаков и молодых звездных объектах. Анализ геометрии магнитного поля и углового момента на разных уровнях иерархии может быть использован для определения эволюционной стадии коллапсирующего протозвездного облака. Разработанные численные модели могут быть развиты для исследования дальнейшей эволюции протозвезд с протозвездными дисками.

Научная новизна работы:

1. В данной работе впервые детально исследована изотермическая стадия коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков в большом диапазоне начальных тепловой, магнитной и вращательной энергий. Показано, что коллапсирующее протозвездное облако приобретает иерархическую структуру, состоящую из уплощенной оболочки облака и первичного квазимагнитостатического диска. Определены условия формирования первичных дисков.
2. Впервые продемонстрирована ключевая роль первичных дисков в эволюции углового момента в иерархической структуре коллапсирующего протозвездного облака. Определены размеры и массы первичных дисков в зависимости от начального значения магнитной энергии облака. Выполнено сравнение полученных результатов с наблюдательными данными о размерах и массах уплощенных оболочек молодых звездных объектах класса 0. Определены интенсивность и геометрия магнитного поля на разных уровнях иерархии коллапсирующего протозвездного облака.
3. Исследована эволюция иерархии коллапсирующих протозвездных облаков, включающей первичные диски, вплоть до образования первого ядра и истечений. Впервые показано, что первичные диски являются долгоживущими структурами, являющимися основным резервуаром массы, углового момента и магнитного потока для дальнейшего формирования протозвезды с протозвездным диском.

4. На основе расчетов коллапса неоднородного облака в первые показано, что область низкой степени ионизации и эффективной амбиполярной диффузии («мертвая» зона) может образоваться до появления первого гидростатического ядра. Показано, что распределения углового момента и магнитного потока меняются в процессе эволюции коллапсирующего протозвездного облака. Высказана гипотеза о том, что анализ этих распределений может быть использован для идентификации оболочки и первичного диска в наблюдениях.

Личный вклад автора:

Автором получены все основные результаты, выносимые на защиту. С помощью двумерного МГД-кода Enlil выполнены численные расчеты коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков в большом диапазоне начальных параметров. Всего выполнено около 300 расчетов с разными начальными безразмерными параметрами, массами и температурами, без диффузии и с учетом омической и/или амбиполярной диффузии, с разным количеством ячеек сетки и скоростью сгущения сетки. На языке программирования Python написаны программы для обработки, анализа и визуализации данных, полученных с помощью МГД-кода Enlil. Выполнен анализ полученных результатов. Автор принимала активное участие в написании статей по результатам работ.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях и семинарах:

- еженедельный астрофизический семинар кафедры общей и теоретической физики ФГБОУ ВО «ЧелГУ»;
- 48-я, 49-я и 50-я Международные студенческие научные конференции «Физика космоса» (Екатеринбург, УрФУ, Коуровская астрономическая обсерватория, 2019 – 2023 г.);

- Всероссийская конференция «VII Пулковская молодежная астрономическая конференция» (Санкт-Петербург, Пулковская астрономическая обсерватория РАН, 2018 г.);
- Всероссийская десятая конференция из цикла «Современная звездная астрономия» (Нижний Архыз, САО РАН, 2019 г.);
- Всероссийские 4-я и 5-я конференции «Звездообразование и планетообразование» (Москва, АКЦ ФИАН, 2020 – 2021 г.);
- XI Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании»: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2020» (Уфа, БашГУ, 2020 г.);
- Всероссийская с международным участием конференция «Астрономия и исследование космического пространства» (Екатеринбург, УрФУ, Коуровская астрономическая обсерватория, 2021 г.);
- Международная конференция «Submillimeter and Millimeter Astronomy: Objectives and Instruments» (Москва, АКЦ ФИАН, 2021 г.);
- Всероссийская астрономическая конференция, ВАК-2021: «Астрономия в эпоху многоканальных исследований» (Москва, ГАИШ МГУ, 2021 г.);
- Всероссийская с международным участием конференция «Физика звёзд: теория и наблюдения» (Москва, ГАИШ МГУ, 2023 г.);
- Всероссийская астрономическая конференция, ВАК-2024: «Современная астрономия: от ранней вселенной до экзопланет и черных дыр» (Нижний Архыз, САО РАН, 2024 г.)

Положения и результаты исследования, выносимые на защиту, достаточно полно отражены автором по теме диссертации в **5 статьях**, опубликованных в журналах, индексируемых **Web of Science** и **Scopus**, и **рекомендованных ВАК РФ**, и 17 публикаций в трудах российских и международных конференций. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 77 страниц (8.9 печатных

листа). В изданиях, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя составляет 50%.

Список публикаций автора по теме диссертационной работы в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Zamozdra S.N. Toward the birth of very wide binary stars / S.N. Zamozdra, N.S. Kargaltseva // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2017. – Т. 30. – №2. – С. 241-248
2. Хайбрахманов С.А., Моделирование изотермического коллапса магнитных протозвездных облаков / С.А. Хайбрахманов, А.Е. Дудоров, Н.С. Каргальцева, А.Г. Жилкин // *Астрономический Журнал* – 2021. – Т. 98. – №8. – С. 681-693.
3. Каргальцева Н.С., Первичные диски и их наблюдательные проявления в коллапсирующих магнитных вращающихся облаках / Н.С. Каргальцева, С.А. Хайбрахманов, А.Е. Дудоров, А.Г. Жилкин // *Краткие сообщения по физике, ФИАН*. – 2021. – Т. 48. – №9. – С. 19-25.
4. Kargaltseva N.S., Influence of the magnetic field on the formation of protostellar disks / N.S. Kargaltseva, S.A. Khaibrahmanov, A.E. Dudorov, S.N. Zamozdra, A.G. Zhilkin // *Open Astronomy*. – 2022. – V. 31. – 1. – P. 172-180.
5. Khaibrakhmanov S. Numerical 2D MHD simulations of the collapse of magnetic rotating protostellar clouds with the Enlil code / S. Khaibrakhmanov, S. Zamozdra, N. Kargaltseva, A. Zhilkin, A. Dudorov // *The Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool: Proceedings of the International Astronomical Union*. – 2023. – Vol. 16 (362). – P. 273-278.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки), в следующих пунктах:

п. 3. «Изучение происхождения, структуры, движения и эволюции космических объектов на базе физических теорий, астрономических наблюдений и физических измерений» в связи с тем, что работа посвящена теоретическому моделированию гравитационного коллапса ядер межзвездных молекулярных облаков (протозвездных облаков), исследованию процессов образования и эволюции протозвездных дисков, анализу физических свойств объектов, образующихся в процессе коллапса протозвездных облаков.

п. 12. «Теоретические и экспериментальные исследования космической плазмы», поскольку исследования эволюции протозвездных облаков в диссертации выполняются в рамках приближения магнитной газодинамики с учетом основных ионизационных, рекомбинационных, индукционных и диффузионных эффектов в космической плазме.

В соответствии с пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней в диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных соискателем научной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертационная работа Н.С. Каргальцевой на тему «Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвездных дисков» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пп.9-11 и пп.13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней». Диссертация «Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвездных дисков» Каргальцевой Натальи Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Заключение принято на заседании кафедры общей и теоретической физики. Присутствовало на заседании 27 чел. Результаты голосования: «за» – 27 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 03 от «07» октября 2024 г.

Майер А.Е.,

доктор физико-математических наук,

заведующий кафедры общей и теоретической физики

ФГБОУ ВО «ЧелГУ»



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет», Россия, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129, телефон (351) 799-71-01, e-mail: odou@csu.ru, web-сайт <http://csu.ru>

Подпись 
Подтверждаю 
ведущий специалист
отдела кадров

