

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор
федерального государственного
автономного образовательного учреждения

высшего образования

«Южный федеральный университет»

д.х.н., старший научный сотрудник

А.В. Метелица

« 6 » ноября 2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования

«Южный федеральный университет»

на диссертационную работу Кругальцевой Натальи Сергеевны

«Влияние магнитного поля на образование и эволюцию

протозвездных дисков», представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертационная работа посвящена исследованию влияния магнитных полей на образование и эволюцию протозвездных дисков. Формирование и эволюция протозвездных и протопланетных дисков является одной из важнейших современных областей астрофизики. Её актуальность обусловлена последними достижениями наблюдательной астрономии, позволяющими непосредственно наблюдать процесс формирования планет в протопланетных дисках. В то же время, огромное разнообразие известных экзопланетных систем, существенно отличающихся по архитектуре и массе от планет Солнечной системы, требует объяснения. Причины такого разнообразия могут быть заложены уже на самых ранних стадиях

формирования звезд и окружающих их протозвездных дисков в результате гравитационного коллапса протозвездных молекулярных облаков. Магнитное поле играет существенную роль в данном процессе и именно его влиянию на начальные этапы формирования звезд и протозвездных дисков посвящена диссертационная работа Каргальцевой Н. С. Таким образом, актуальность данной работы не вызывает сомнений. Работа выполнена с использованием численного программного комплекса Enlil, предназначенного для исследования гравитационного коллапса протозвездных облаков и хорошо зарекомендовавшего себя в предыдущих исследованиях.

Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение и одно приложение. Во введении выполнен обзор предшествующих исследований по тематике диссертационной работы, обосновывается актуальность, формулируются цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также личный вклад автора.

Первая глава носит обзорный характер. В ней представлена современная картина звездообразования, основанная на наблюдениях протозвездных облаков и молодых звездных объектов. Перечислены основные теоретические модели гравитационного коллапса протозвездных облаков и описаны такие проблемы в теории звездообразования, как избыток углового момента и катастрофическое магнитное торможение, на решение которых и направлена данная диссертационная работа.

Во второй главе выполнено исследование гравитационного коллапса однородных протозвездных облаков с начальной массой 1.0 и 10 масс Солнца и широким спектром начальных температур, скорости вращения и напряженности магнитного поля. Расчеты ограничены начальной изотермической стадией коллапса до момента образования первого гидростатического ядра в центре облака. Отмечается формирование

иерархической структуры облака по мере его коллапса с образованием в срединной плоскости протяженного квазимагнитостатического диска, который можно считать начальной стадией формирования более компактных протозвездных и протопланетных дисков вокруг молодых звезд.

В третьей главе диссертационной работы выполнено дальнейшее исследование эволюции коллапсирующего протозвездного облака после образования первого гидростатического ядра, то есть на неизотермической стадии. В частности, исследуется влияние диссипативных магнитогидродинамических процессов, таких как амбиполярная и омическая диффузия, на структуру облака и первичного диска. Отмечается долгоживущий характер первичных квазимагнитостатических дисков, а также сильная зависимость их параметров от замагниченности начального протозвездного облака. Обсуждается формирование вертикальных истечений газа на границе первого гидростатического ядра, а также эффективность магнитного торможения диска.

В четвертой главе выполнено численное гидродинамическое моделирование гравитационного коллапса неоднородных протозвездных облаков. Отмечается, что степень неоднородности облака оказывает слабое влияние на потерю углового момента облаком. Обнаружено формирование зон низкой ионизации, так называемых «мертвых зон», еще на стадии изотермического коллапса, что способствует потере углового момента облаком и ослаблению проблемы избыточного магнитного торможения. Характер вращения первичных облаков схож с кеплеровским законом, что является интересной находкой, поскольку может маскировать первичные диски под их более поздние протозвездные стадии.

В заключении сформулированы основные итоги диссертации и перспективы их применения. К основным результатам можно отнести следующее:

1. Формирование сплюснутой оболочки, внутри которой находится оптически и геометрически тонкий квазимагнитостатический первичный диск, является универсальным свойством коллапсирующих магнитных вращающихся протозвездных облаков.
2. Для формирования первичных дисков достаточно, чтобы отношение вращательной и магнитной энергий к гравитационной энергии было незначительным и превышало всего 0.01. Размеры и массы первичных дисков сопоставимы с наблюдаемыми размерами сплюснутых оболочек молодых звездных объектов класса 0.
3. Первичные диски являются долгоживущими структурами и могут представлять собой резервуар массы, углового момента и магнитного потока для формирования в последующем протозвезды и протозвездного диска. Характер вращения данных структур может быть схож с кеплеровским законом.
4. Магнитное торможение эффективнее в процессе коллапса неоднородного облака, чем в случае однородного облака. Угловой момент накапливается на границе первичного диска, а затем передается оболочке за счет магнитного торможения.

Все вышесказанное показывает, что диссертационная работа Каргальцевой Н. С. представляет собой детальное исследование начальных стадий гравитационного коллапса протозвездных облаков на основе численного магнитогидродинамического моделирования. Все результаты новые и достоверные, что обусловлено использованием уникального программного комплекса Enlil, прошедшего необходимую верификацию и апробацию, а также публикаций в рецензируемых журналах. Сопоставление

полученных результатов моделирования с наблюдениями протозвездных облаков, в том случае, когда это возможно, дает хорошее согласие. Все результаты опубликованы в астрономических журналах, рекомендованных ВАК.

Имеются следующие вопросы и замечания, изложенные ниже:

1. Формирование квазимагнитостатических первичных дисков представляет несомненный интерес. Однако ограничения численной модели не позволяют судить о возможном развитии гравитационной неустойчивости в таких объектах. Следовало бы провести аналитические оценки возможности развития гравитационной неустойчивости, с возможностью фрагментации и формирования двойных/кратных систем в подобных объектах, тем более что диски по характеру вращения близки к кеплеровским.
2. Квазимагнитостатические первичные диски часто упоминаются как долгоживущие объекты. Следовало бы более точно определить, что понимается под данным термином, например на шкале эволюции протозвёздного облака или протопланетного диска, а также в величинах абсолютного времени.
3. К описанию магнитного поля в первичных дисках часто применяется термин «квазиоднородное», однако судя по результатам и рисункам, более правильным было бы применять термин «квазивертикальное». Магнитное поле в первичном диске, строго говоря, не является однородным, а имеет явно выраженный градиент в радиальном направлении.
4. Формирование квазикеplerовского первичного диска при коллапсе неоднородных протозвездных облаков является достаточно неожиданным и интересным результатом. Следовало бы дать

обоснование такому эффекту, тем более что масса центрального первого гидростатического ядра явно не достаточна для установления кеплеровского закона вращения в первичном диске.

Данные замечания не снижают общей высокой оценки работы, не затрагивают основных ее выводов и положений, выносимых на защиту. Результаты диссертационной работы опубликованы в пяти статьях, все – в журналах, рекомендованных ВАК, в двух из которых Каргальцева Н. С. является первым автором, а также представлены на 17 российских и международных конференциях.

Диссертационная работа Каргальцевой Натальи Сергеевны «Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвездных дисков», удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, является завершенным научным исследованием, существенно расширившим научные представления о самых ранних стадиях звездообразования. Ее автор Каргальцева Наталья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Отзыв подготовлен д.ф.-м.н., ведущим научным сотрудником (01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия) НИИ физики Южного федерального университета Воробьевым Эдуардом Игоревичем (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, тел. 8(988)5651832, email: eivorobev@sfedu.ru).

Отзыв обсужден и утвержден на заседании объединенного астрофизического семинара кафедры физики космоса Южного федерального университета и отдела космических исследований Научно-

исследовательского института физики Южного федерального
университета 05 ноября 2024 г., протокол № 8.

Зав. кафедрой физики космоса

Южного федерального университета

кандидат физ.-мат. наук, доцент,

председатель семинара



Ирина Александровна Ачарова

Сведения о ведущей организации

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южный федеральный университет»

Тел.: +7(863) 305-19-90,

факс: +7(863) 263-87-23,

email: info@sfedu.ru

