

ОТЗЫВ

официального оппонента Зинченко Игоря Ивановича, заведующего отделом,
отдел № 180 «Радиоприёмной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии»
Отделения «Физики плазмы и электроники больших мощностей»
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»,
на диссертацию Каргальцевой Натальи Сергеевны на тему
«Влияние магнитного поля на образование и эволюцию протозвёздных дисков»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Диссертация Н.С. Каргальцевой посвящена теоретическому моделированию эволюции протозвёздных облаков с учетом влияния остаточного магнитного поля и других факторов. Все это имеет непосредственное отношение к изучению процесса звёздообразования, что является одной из наиболее актуальных проблем астрофизики. Несмотря на довольно долгую историю исследований этого процесса, как наблюдательных, так и теоретических, в этой области остается много нерешённых вопросов. Многие из них как раз связаны с влиянием магнитного поля. Наблюдение магнитных полей в протозвёздных облаках представляет собой очень непростую задачу и объём соответствующих наблюдательных данных пока очень ограничен. Тем не менее, они появляются, особенно благодаря созданию новых инструментов. Развитие теоретических моделей эволюции протозвёздных облаков с учётом магнитного поля, несомненно, очень важно и своевременно. Одним из основных этапов этой эволюции является образование протозвёздного диска, через который происходит аккреция вещества на протозвезду. Именно протозвёздным дискам и уделяется основное внимание в диссертационной работе Н.С. Каргальцевой.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций автора, списка литературы и приложения. Во введении обосновывается актуальность работы, описываются её цель, задачи, научная новизна, научная и практическая значимость, личный вклад соискателя, излагаются положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор наблюдательных данных о протозвёздных облаках и молодых звёздных объектах, а также обзор моделей коллапса и основных сценариев образования звёзд малой массы. Обзоры эти достаточно полные. При этом там упоминаются и оригинальные результаты соискателя. Сформулированы некоторые существующие проблемы в теории звёздообразования. К ним относятся проблема углового момента, проблема магнитного потока и проблема катастрофического магнитного торможения. Отмечается необходимость детального численного МГД моделирования для решения этих проблем.

В последующих главах представлены основные результаты диссертационной работы. Во второй главе рассматривается изотермическая стадия коллапса первоначально однородного сферически-симметричного протозвёздного облака. Основные варьируемые параметры модели – это отношения тепловой, магнитной и вращательной энергий к модулю гравитационной энергии (ϵ_t , ϵ_m и ϵ_w , соответственно). Моделируется эволюция облаков солнечной массы и промежуточной массы с начальной температурой 10 К и 20 К, соответственно. Основной вывод заключается в том, что на этой стадии формируется иерархическая структура облака. Облако приобретает форму сплюснутой оболочки, внутри которой образуется оптически и геометрически тонкий первичный протозвёздный диск. Граница этого диска определяется переходом от вертикального почти свободного падения вещества к магнитостатическому равновесию, при котором вертикальная компонента скорости почти исчезает. Анализируется влияние вариаций упомянутых выше параметров на

формирование этой структуры. Так, в облаках без вращения формирование первичного диска происходит при $\epsilon_m \geq 0.2$, а во вращающихся облаках при $\epsilon_m \geq 0.01$ и $\epsilon_w \geq 0.01$.

В конце изотермической стадии коллапса в центре первичного диска образуется первое гидростатическое ядро. Дальнейшая эволюция этой системы рассматривается в главе 3. Показано, что первичные диски являются долгоживущими структурами. Рассматриваются перераспределение углового момента и магнитного потока в системе, магнитное торможение, формирование истечений, роль диссипативных эффектов. Найдено, что истечения образуются вблизи первого гидростатического ядра.

В четвертой главе моделируется коллапс протозвёздного облака с изначально неоднородным распределением плотности и магнитного поля. Хотя в целом картина коллапса такого облака близка к той, которая получается для однородного облака, имеются и некоторые отличия. Размеры элементов формирующейся иерархической структуры в таких облаках больше, чем в изначально однородном облаке. Более эффективно магнитное торможение. Одно из отличий заключается в формировании так называемой «мёртвой зоны», в которой степень ионизации сильно понижена. Это приводит к отводу части магнитного потока на периферию облака и к ослаблению магнитного торможения. Показано, что наклон радиального профиля удельного углового момента меняется в процессе коллапса. Стоит отметить, что результаты расчетов профиля углового момента сопоставляются с данными наблюдений.

В Заключение сформулированы основные результаты работы и в Приложении описаны детали численных расчетов.

В целом, изложение результатов работы в диссертации построено очень логично и последовательно. В работе получен ряд новых результатов, которые отмечены выше. Они представлены в Положениях, выносимых на защиту и в Заключение. Кратко, можно выделить следующее.

1. Показано, что формирование иерархической структуры является универсальным свойством коллапсирующих магнитных вращающихся протозвёздных облаков. Эта структура состоит из оптически тонкой и геометрически толстой сплюснутой оболочки, внутри которой находится оптически и геометрически тонкий квазимагнитостатический первичный диск. В центре первичного диска формируется первое гидростатическое ядро.

2. Определены условия формирования первичного диска. Показано, что эти диски представляют собой долгоживущие образования и служат резервуаром массы, углового момента и магнитного потока для формирующихся в дальнейшем протозвёзды и протозвёздного диска.

3. Показано, что истечения, наблюдаемые в протозвёздных объектах, образуются вблизи первого гидростатического ядра.

4. Найдено, что радиальный профиль удельного углового момента может служить индикатором стадии эволюции протозвёздного облака.

5. Выявлена важная роль диссипативных МГД-эффектов в эволюции магнитного потока облака и ослаблении магнитного торможения ещё до образования первого ядра.

Достоверность результатов не вызывает сомнений. Она обеспечивается использованием апробированных методов численного моделирования и сопоставлением с результатами других авторов. Также стоит отметить, что все основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых астрономических журналах.

Существенных недостатков в работе, по моему мнению, нет. В то же время имеется ряд замечаний и пожеланий.

1. В диссертации представлен неплохой обзор наблюдательных характеристик протозвёздных облаков и результаты детального моделирования таких объектов в зависимости от различных параметров. Сопоставление результатов моделирования с наблюдениями, хотя и имеется (что отмечено выше), но всё же очень ограничено. Конечно, данные о некоторых характеристиках, например, о магнитном поле в облаках весьма скудны из-за

сложностей их определения. Но структура и кинематика, по крайней мере для ряда объектов, изучены неплохо. Было бы полезно расширить сравнение моделей с наблюдениями, попытаться на этой основе ограничить диапазон параметров моделей. Правда, для этого, видимо, надо бы учесть некоторые факторы, которые пока в моделях не учитывались, например, мелкомасштабную турбулентность. Так что это, скорее, задача на будущее.

2. В формулировках имеются некоторые неточности. Например, во введении в Положениях, выносимых на защиту, говорится, что «первичные диски образуются в магнитных протозвездных облаках, когда магнитная энергия облака составляет более 20% от его гравитационной энергии, $\varepsilon_m \geq 0.2$ ». Но здесь надо добавить (что и сделано в Заключение), что речь идёт об облаках без вращения. При наличии вращения, как отмечено выше, критерии несколько другие.

Во введении говорится, что «Андре и др. выделили ещё один класс ядер молекулярных облаков – «дозвёздные ядра»». На самом деле это разновидность «беззвёздных ядер», о которых говорится чуть выше.

3. В диссертации есть некоторое количество (небольшое) опечаток, орфографических и грамматических ошибок (даже в названиях разделов – например, заголовок раздела 2.2).

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. В целом диссертационная работа Н.С. Каргальцевой является законченным научно-исследовательским трудом и удовлетворяет всем требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Н.С. Каргальцева, безусловно, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Зав. отделом ИПФ РАН
доктор физ.-мат. наук
тел.: +7-831-4367253
Email: zin@ipfran.ru
Адрес: 603950 Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН



И.И. Зинченко

25. 11. 2024

Подпись И.И. Зинченко заверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН



И.В. Корюкин