

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Королькова Сергея Дмитриевича
на тему: «Влияние межзвёздных атомов и магнитных полей на течение
плазмы в астросферах»
по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Диссертационная работа Королькова Сергея Дмитриевича посвящена исследованию влияния межзвёздных атомов и азимутальной компоненты магнитного поля звездного ветра на область взаимодействия сферически-симметричного гиперзвукового потока плазмы от звезды с набегающим потоком межзвездной плазмы.

Актуальность избранной темы исследования, в первую очередь, обусловлена необходимостью анализа как имеющихся наблюдательных данных (в линиях $\text{Ly}\alpha$, $\text{H}\alpha$, а также в инфракрасном диапазоне) об астросферах ближайших звезд, так и ожидаемых в ближайшей перспективе новых данных в связи с планируемыми к запуску космическими миссиями.

Степень достоверности полученных результатов представляется достаточно высокой ввиду следующих обстоятельств. В диссертации для описания исследуемых процессов используются общепризнанные физические и математические модели, для решения которых применяются хорошо зарекомендовавшие себя численные методы, обладающие высокой вычислительной точностью и производительностью. Представленные в диссертации результаты расчетов имеют хорошее согласие с аналогичными результатами, полученными в работах других авторов.

Научная новизна обусловлена тем, что впервые были получены следующие результаты. В широком диапазоне чисел Кнудсена в рамках кинетико-газодинамического подхода решена задача о взаимодействии звездного ветра с частично-ионизованной межзвёздной средой. Обнаружен эффект нагрева внешнего ударного слоя астросферы энергетическими нейтральными атомами водорода. Изучено влияние звездных магнитных

полей на область взаимодействия звездного ветра с набегающим потоком межзвездной среды. Обнаружена смена режима течения при достижении критических параметров потока. Показано возникновение зоны возвратного течения в хвостовой области трубчатой астросферы и образование вторичной точки торможения.

Степень обоснованности положений, научных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, представляются мне весьма высокими ввиду следующих обстоятельств. Все сформулированные выводы по работе аргументированно обосновываются на основе детального анализа физики рассматриваемых явлений, а также их сравнения с наблюдательными данными (если это возможно) и с результатами, полученными другими авторами. Стоит также отметить, что все основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и, следовательно, прошли независимую проверку.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Полный объём диссертации составляет 143 страницы, включая 32 рисунка и 1 таблицу. Список литературы содержит 101 наименование.

Во **введении** сформулированы цели работы, обоснована их актуальность, показаны научная новизна исследования и практическая значимость полученных результатов, а также представлены выносимые на защиту научные положения. В **первой главе** сделан подробный обзор литературы по исследуемой тематике, приведены некоторые классические решения. Во **второй главе** проводится параметрическое исследование течения плазмы и атомов в астросфере в зависимости от числа Кнудсена. **Третья глава** посвящена исследованию влияния азимутального магнитного поля звезды на область взаимодействия звёздного и межзвёздного ветров. В **заключении** сформулированы основные выводы работы. **Приложение А** содержит доказательство равенства единице числа Маха в ядре сферического источника и служит дополнением к материалам первой главы. В

Приложении Б приведены распределения параметров атомов водорода для случая малых чисел Кнудсена. В **Приложении В** представлены двумерные распределения параметров плазмы во всей расчётной области. **Приложение Г** посвящено численной реализации метода Монте-Карло, специально адаптированной для моделирования динамики атомов водорода в астросферах. **Приложение Д** содержит результаты верификации и тестирования разработанного программного комплекса.

По диссертации можно сделать следующие **замечания**.

1. На рисунке 2 (стр. 8) отмечены основные поверхности разрыва, в том числе головная ударная волна (BS). Однако на представленной схеме такое обозначение отсутствует. Имеется только астросферная ударная волна (TS).
2. К уравнениям (1.1) на стр. 16 нет пояснения, что такое γ .
3. В уравнении для скорости на стр. 16 использовано другое обозначение для массы по сравнению с предыдущими формулами.
4. В конце стр. 16 сказано: «второе семейство предполагает гиперзвуковую скорость истечения ветра из звезды, что не выполняется». Непонятно, почему использован термин «гиперзвуковой». Такое решение (типа 2) (а также соответствующее решение для критической кривой) иногда рассматривается в качестве модели ветра для горячих звезд (см., например, Баранов, Краснобаев, Гидродинамическая теория космической плазмы, 1977).
5. В уравнениях (2.1) и (2.2) используется одинаковое обозначение для скорости протонов и плазмы. В уравнении (2.1) для плазмы используется V_p , а далее в уравнении (2.3) U_p .
6. В модели, описанной в разделе 2.2 (а также в разделе 3.2 с учетом магнитного поля), в качестве γ используется показатель адиабаты, равный $5/3$. В области звездного ветра показатель политропы не равен показателю адиабаты. Как правильно указано в первой главе диссертации, ускоряющийся ветер возможен для случаев, когда показатель политропы не превосходит $3/2$. Как показывает анализ измерений, показатель политропы в солнечном ветре изменяется от значений, немного превышающих единицу

вблизи Солнца, до значений, стремящихся к 1.5 на больших расстояниях от Солнца. В рамках адиабатической гидродинамики (показатель адиабаты равен $5/3$) для реализации этих свойств необходимо либо добавлять эффективные механизмы нагрева, либо включать дополнительный механизм ускорения ветра. Как это учитывалось в расчетах?

7. Еще один комментарий к модели из раздела 2.2. Параметры солнечного ветра существенно зависят от эклиптической широты (высоты над плоскостью эклиптики). Вблизи плоскости эклиптики наблюдается в основном медленный ветер, а на больших высотах над эклиптической – быстрый ветер, имеющий малую плотность и большую скорость. В частности, такие свойства ветра необходимо иметь в виду при определении величины темпа потери массы звезды за счет ветра. Поскольку используемая модель ветра является сферически-симметричной, то такое разделение она в полной мере учесть не может. Насколько это обстоятельство может повлиять на результаты расчетов и общие выводы по работе? Особенно этот эффект представляется важным при обсуждении формирования трубчатой астросферы при учете магнитного поля (раздел 3.1).

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. **Материал автореферата соответствует тексту диссертации. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы» по физико-математическим наукам, а именно следующим её направлениям:** космическая газовая динамика, динамика разреженных газов и молекулярная газодинамика, численные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в

Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, **соискатель Корольков Сергей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы».**

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник отдела Физики и эволюции звезд (ФЭЗ)
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт астрономии Российской академии наук»

ЖИЛКИН Андрей Георгиевич

Контактные данные: Жилкин Андрей Георгиевич

тел.: 7(915)4369622, e-mail: zhilkin@inasan.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.02.03 – астрофизика и звездная астрономия

Адрес места работы:

119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48,
Институт астрономии РАН
Тел.: (495) 951-08-81; e-mail: zhilkin@inasan.ru

Подпись сотрудника

Института астрономии РАН А.Г. Жилкина удостоверяю:

Ученый секретарь

М.С. Мурга

Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, **соискатель Корольков Сергей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы».**

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник отдела Физики и эволюции звезд (ФЭЗ)
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт астрономии Российской академии наук»

ЖИЛКИН Андрей Георгиевич

Контактные данные: Жилкин Андрей Георгиевич

тел.: [REDACTED], e-mail: zhilkin@inasan.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.02.03 – астрофизика и звездная астрономия

Адрес места работы:

119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48,

Институт астрономии РАН

Тел.: (495) 951-08-81; e-mail: zhilkin@inasan.ru

Подпись сотрудника

Института астрономии РАН А.Г. Жилкина удостоверяю:

Ученый секретарь

М.С. Мурга