

УТВЕРЖДАЮ

врио директора ФИАН

член-корр. РАН




Н. Н. Колачевский

" 23 " сентября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) на диссертационную работу

Кислова Романа Анатольевича

на соискание учёной степени «кандидат физико-математических наук» по специальности
«01.03.03 – физика Солнца»

отрасль наук: «физико-математические») на тему

«Стационарные токовые слои в гелиосфере».

Работа посвящена изучению крупномасштабных токовых слоёв, формирующихся в гелиосфере, то есть в области околосолнечного пространства, в которой распространяется (имеет ненулевую скорость) солнечный ветер. В настоящее время широко известен и подробно исследован экваториальный токовый слой, формирующийся в плоскости солнечного экватора в результате взаимодействия потоков магнитного поля противоположной направленности. Гораздо менее известна возможность формирования дополнительных крупномасштабных слоёв на более высоких широтах, в том числе в околополярных областях. В диссертационном исследовании предложено комплексное описание гелиосферных токовых слоёв в рамках единого подхода, основанного на МГД приближении. Актуальность темы исследования связана с существенной ролью токовых слоёв в физике околосолнечного пространства, в том числе в их влиянии на солнечный ветер и, в целом, на распространение солнечной энергии и вещества в межпланетное пространство. Существенной проблемой при этом является ограниченность прямых измерений плазмы в токовых слоях и примыкающих к ним областях. В этой связи важную роль приобретают теоретические модели. В диссертации предложено исследование именно такого типа, результаты которого показали хорошее согласие с экспериментом.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка цитированной литературы и трёх приложений. Общий объем диссертации — 150 страниц, включая 35 рисунков.

Во введении представлено краткое описание диссертации, включающее актуальность темы работы и анализ современного состояния исследований, сформулирована теоретическая и практическая значимость работы, отмечена научная новизна, перечислены основные результаты диссертации, отмечен личный вклад автора в получение результатов, указаны сведения по апробации результатов, приведён список публикаций по теме диссертации.

В первой главе диссертации изложены основные предположения, использовавшиеся при моделировании течений плазмы: рассматриваются стационарные осесимметричные изотермические течения; плазма считается невязкой одножидкостной и идеальной (справедливо условие замороженности). Выписаны основные уравнения, определяющие перенос вещества, импульса и энергии в системе. Отмечено, что исследование ведётся методом магнитных потоков, то есть решения ищутся в форме аналитических зависимостей от магнитного потока Φ и радиуса r .

Во второй главе диссертации предложено построение модели гелиосферного плазменного слоя, справедливая на расстояниях от Солнца от 20 солнечных радиусов и далее. Аккуратно изложены основные уравнения и предположения модели, главными из которых является предположение изотермичности плазмы, возможность пренебречь силой тяжести, а также предположение о том, что толщина плазменного слоя много меньше его радиуса. Получены решения, включающие в себя в том числе скорость солнечного ветра, интегральную силу тока в слое и форму спирали межпланетного магнитного поля. Проведена оценка толщины плазменного слоя.

В третьей главе рассматривается вопрос о моделировании токовых слоёв в гелиосфере в стационарном осесимметричном приближении. Высказано и подтверждено расчётами предположение, что в случае, если к дипольному магнитному полю Солнца добавляется квадрупольная и октупольная компонента, то дополнительно к экваториальному токовому слою в окрестности Солнца могут формироваться дополнительные токовые слои на средних и высоких широтах, способные формировать крупномасштабные токовые структуры в солнечном ветре. Приведены решения для различных комбинаций дипольного, квадрупольного и октупольного магнитных полей Солнца. Сделаны выводы о скорости падения радиальной компоненты межпланетного магнитного поля в различных вариантах, которые могут прямо сравниваться с наблюдениями.

В четвёртой главе исследуется вопрос о формировании конических токовых слоёв, возникающих в минимумы активности над полюсом Солнца и обнаруженных по данным космического аппарата Ulysses, полученным вне плоскости эклиптики. Предложена модель такого слоя, разработанная в схожих приближениях, что и модели экваториальных и среднеширотных слоёв. Получены результаты моделирования, показывающие качественное согласие с наблюдениями.

В заключении приведены основные научные результаты диссертации.

К основным результатам диссертации, определяющим ее научную новизну, относятся следующие: получен новый класс решений для описания течения плазмы солнечного ветра и структуры межпланетного магнитного поля в стационарном приближении; впервые построена самосогласованная целостная МГД модель множественных токовых слоёв в гелиосфере, включающая не только экваториальный, но и средне- и высокоширотные слои. Впервые разработана модель околополярного конического токового слоя.

Все вышеперечисленные результаты диссертанта являются оригинальными и получены впервые. Работа имеет большое значение для понимания крупномасштабной структуры межпланетной среды, её глобальных особенностей и логики формирования. Отдельно следует отметить важность диссертационного исследования для более точного описания процессов распространения солнечных заряженных частиц к Земле, что имеет существенное значение для физики солнечно-земных связей и космической погоды.

Результаты апробированы на 28 международных и российских конференциях, неоднократно докладывались на научных семинарах и научно-технических советах и опубликованы в 10 публикациях автора в рецензируемых научных изданиях. Диссертация написана хорошим языком, качественно оформлена, содержит большое число иллюстративного материала.

К работе нет существенных замечаний. Из незначительных ремарок, можно отметить, что, хотя тепловая проводимость солнечного ветра и является очень высокой, всё же его изотермическое описание не является полностью корректным, и, фактически, радиальный градиент температуры и связанные с ним тепловые потоки в плазме солнечного ветра присутствуют. Полагаю, что в перспективе эти эффекты и связанные с ними поправки к решениям могут быть также учтены.

Сказанное ничуть не уменьшает положительного впечатления от работы диссертанта и не умаляет её актуальности и обоснованности, а также достоверности основных выводов и заключений диссертанта.

Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Диссертация по актуальности, объему проделанной работы, достоверности и значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца, а ее автор – Кислов Роман Анатольевич, несомненно, заслуживает присуждения соответствующей учёной степени.

Отзыв подготовил

Главный научный сотрудник лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН,
доктор физ.-мат. наук



С.А. Богачёв

Телефон: 8-499-132-65-97, e-mail: bogachev@lebedev.ru

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании Учёного совета отделения оптики ФИАН
23 сентября 2020 г., протокол № 9.

Председатель Учёного совета,
доктор физ.-мат. наук



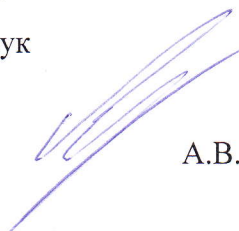
В.С. Лебедев

Телефон: 8-499-132-69-23, e-mail: lebedevvs@lebedev.ru

Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Подписи С.А. Богачёва и В.С. Лебедева заверяю.

Учёный секретарь ФИАН, кандидат физ.-мат. наук



А.В. Колобов

« 23 » сентября 2020 г.