

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Балюкина И.И.**

«ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ В ГЕЛИОСФЕРЕ И ЭКЗОСФЕРЕ ЗЕМЛИ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.03.03-Физика Солнца и 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Представленная диссертация посвящена анализу распределения нейтральных атомов кислорода и водорода вблизи Земли по данным приборов космических аппаратов (КА) IBEX (Interstellar Boundary Explorer) и SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). Основной целью анализа является получение информации о физических процессах, происходящих в области взаимодействия сверхзвукового солнечного ветра с локальной межзвездной средой. В последние десятилетия большой интерес научного сообщества вызывали результаты миссий КА Voyager 1,2, которые после 30-летнего полета достигли границ солнечной системы. Однако данные Voyager 1,2 носят в значительной мере ограниченный характер, прежде всего в силу локальности измерений. Поэтому данные, полученные на околоземных КА, могут существенным образом дополнять информацию с Voyager 1,2, что важно для построения общей картины области взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой. Кроме того, результаты такого рода могут иметь большое значение для планируемых международных миссий Interstellar Mapping and Acceleration Probe (NASA, США), Interstellar Probe (NASA, США), Interstellar Express (CNSA, Китай) и Нуклон (Роскосмос, Россия). В силу сказанного актуальность работы Балюкина И.И. сомнений не вызывает.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и трех приложений. Во введении обоснованы актуальность и новизна работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. В первой главе на основе данных прибора IBEX-Lo исследуется распределение атомарного кислорода в гелиосфере. Во второй главе по данным прибора IBEX-Hi анализируются возникающие во внутреннем ударном слое потоки энергичных нейтральных атомов водорода. В третьей главе проведено исследование пространственное нейтральных атомов водорода в экзосфере Земли. В заключительных параграфах всех трех глав приводится сводка основных результатов. В заключении кратко сформулированы результаты и выводы диссертации. Полный объем диссертации, включая список литературы и приложения, составляет 182 страницы.

Основные выводы диссертации, определяющие ее новизну, научную и практическую значимость, сводятся к следующему.

1. На основе решения линейного кинетического уравнения в частных производных с помощью разработанного автором кода проведено численное моделирование потоков межзвездного нейтрального кислорода и неона вблизи орбиты Земли. Сравнение с данными измерений на КА IBEX позволили подтвердить выдвинутую ранее гипотезу о том, что «удлинённый хвост» в наблюдательных данных связан со вторичной компонентой межзвездного атомарного кислорода, которая возникает за счет процессов перезарядки межзвездных ионов в окрестности гелиопаузы.
2. С помощью трехмерной нестационарной кинетической модели выполнен анализ карт неба глобально распределенных потоков энергичных нейтральных атомов водорода, полученных прибором IBEX-Hi. Получены согласующиеся с данными КА IBEX оценки параметров функции распределения захваченных протонов за гелиосферной ударной волной.
3. Проведен анализ данных прибора SWAN/SOHO, измерявшего рассеяние солнечного Лайман- α излучения, получено пространственное распределение атомов водорода в экзосфере Земли. Показано, что концентрация атомов водорода на больших расстояниях от Земли убывает по закону, близкому к $1/r^3$, а геокорона простирается, по меньшей мере, до 100 радиусов Земли, что превышает сделанные ранее оценки.

Остановимся на недостатках работы, к которым, на мой взгляд, можно отнести следующее.


1. В главе 1 было бы желательным обсудить физическую причину пространственной ориентации «хвоста» в распределении кислорода/неона.
2. При рассмотрении захваченных протонов в главе 2 недостаточно четко обосновано пренебрежение энергетической диффузией частиц при взаимодействии с

турбулентностью солнечного ветра. В начале стр. 51 говорится: «В работе рассматривается простая модель и полагается $D = 0$, что соответствует спокойному СВ, когда уровень флуктуаций магнитного поля низкий, то есть пренебрегается энергетической диффузией. Тем не менее, процесс энергетической диффузии должен учитываться, поскольку он определяет уровень эффективности рассеяния по питч-углу. В этом случае уравнение (2.5) становится линейным дифференциальным уравнением первого порядка, которое может быть решено методом характеристик.» В этом фрагменте имеется явное противоречие между вторым и третьим предложениями. Помимо того, неясно, что понимается под «спокойным солнечным ветром». Дело в том, что развитая турбулентность, причем не только магнитного поля, присутствует как в быстром солнечном ветре, истекающем из корональных дыр в минимуме солнечной активности, так и в медленном ветре, корональные источники которого имеют сложную магнитную структуру. Справедливости ради следует отметить, что автор понимает ограниченность используемого подхода и на стр. 74 отмечает, что учет энергетической диффузии может улучшить согласие между моделью и наблюдательными данными.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую оценку представленной работы. В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, свидетельствует о высокой квалификации автора и содержит новые, важные, интересные и опубликованные в рейтинговых научных журналах результаты. Достоверность результатов обосновывается тем, что исходные измерения выполнены приборами высокого технического уровня, интерпретация данных проведена с использованием кинетических уравнений и оригинальных численных моделей, а результаты моделирования с учетом сложности задачи находятся в достаточно хорошем соответствии с данными измерений. Выносимые на защиту положения в достаточной мере аргументированы. Основные результаты работы опубликованы в девяти статьях, из них восемь первого квартиля Q1. Результаты диссертации прошли обширную апробацию на представительных российских и международных научных конференциях, обсуждались на семинарах механико-математического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова и Института Проблем Механики им. А.Ю.Ишлинского РАН. Можно утверждать: диссертация полностью удовлетворяет П.9, 10 Постановления №842 Правительства РФ от 23.09.2013 г.; результаты работы соответствуют самым передовым мировым позициям. Тематика и содержание работы соответствуют избранным научным

специальностям. Автореферат полно и правильно передает основное содержание работы. Считаю, что диссертация в полной мере отвечает всем необходимым требованиям, а ее автор, Балюкин И.И., вне всякого сомнения, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.03.03 «Физика Солнца» и 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент
заместитель директора ПРАО АКЦ ФИАН
доктор физ.-мат. наук
chashey@prao.ru


Чашей И.В.
20.04.2022

Подпись Чашей И.В. заверяю,
Ученый Секретарь ФИАН кандидат физ.-мат. наук


Колобов А.В.

119991 Москва ГСП-1, Ленинский пр. 53,
ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН (ФИАН), (499) 135 14 29