

**О Т З Ы В**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию Шувалова Сергея Дмитриевича**  
**«Исследование аномалий горячего потока у Земли и Марса и происхождение**  
**дневной магнитосферы Марса»,**  
**представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических**  
**наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца**

Диссертационная работа Сергея Дмитриевича Шувалова посвящена вопросам формирования магнитоплазменных образований, возникающих при обтекании солнечным ветром магнитосфер планет. Рассматривается взаимодействие токовых слоев в области течения солнечного ветра и головной ударной волны Земли или Марса с образованием, так называемых, аномалий горячего потока (АГП). Вторым направлением исследований является исследование плазменных образований в дневной магнитосфере Марса.

Планетарные магнитосферы находятся под постоянным воздействием потоков солнечного ветра и вариаций межпланетного магнитного поля, которые приводят к изменениям в космическом пространстве, окружающем планету. **Научная значимость** исследований связана с необходимостью развития новых методов для изучения физических процессов, развивающихся при взаимодействии крупномасштабных структур солнечного ветра с магнитосферой. **Актуальность** предлагаемых исследований обусловлена возможностью использования данных успешных космических миссий Cluster и Maven для изучения особенностей взаимодействия солнечного ветра с такими разными космическими объектами, как магнитосферы Земли и Марса.

Автором разработаны **новые методы** для исследования аномалий горячего потока у фронта головной ударной волны, формирующейся при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферами Земли и Марса. Им впервые исследованы параметры плазменных структур и популяций частиц в дневной области магнитосферы Марса.

Автором определены характеристики отраженного пучка при формировании АГП и сделан обоснованный вывод о том, что надтепловые ионы, зарегистрированные спутниками Cluster 22 февраля 2006 года перед фронтом ударной волны внутри аномалии горячего потока, являются частицами из магнитослоя, которые проникли внутрь токового слоя в окрестности его пересечения с ударной волной. Полученные результаты исследований находятся в согласии с имеющимися экспериментальными данными и представляют несомненный интерес для физики магнитосферы и солнечно-земных связей.

Замечания и комментарии:

1. Средняя оценка расстояния до ударной волны 12 Re (стр. 10) представляется заниженной. Более реальные значения 13-15 Re.
2. На странице 24 приведен рисунок 2.2. В тексте утверждается, что на рисунке присутствует «(1) горячая центральная область (рис. 2.2), (2) замедленная скорость солнечного



ветра по сравнению с окружающей средой (рис. 2.2)». Этот рисунок является исходным для последующего анализа и требует более подробного описания. Также, на рисунке отсутствует шкала на панелях временных спектров.

3. Откуда получены оценки, что поток солнечного ветра имеет сравнительно малый угловой размер с резкими границами (область пространства скоростей, занимающая азимутальные углы  $135^\circ$  до  $180^\circ$  и широтные углы от  $-45^\circ$  до  $+45^\circ$ )? Отсутствует шкала на цветных диаграммах (с.30).
4. В выводах главы 3 указано, что «чем дальше от ударной волны наблюдаются АГП, тем больше их возраст на момент регистрации» (с.58). Казалось бы, это естественное следствие определения возраста АГП (раздел 3.4.7).
5. Желательно более четко сформулировать отношение автора к механизму возникновения магнитосферы Марса. Согласно главе 4 магнитосфера представляет собой обособленный слой между разогретым на ударной волне солнечным ветром и ионосферой и состоит из смеси разогретых частиц ионосферы и захваченных солнечным ветром ионов, образовавшихся из кислородной короны Марса. Магнитопауза определяется из равенства концентраций протонов солнечного ветра и ионов атомарного и молекулярного кислорода. Присутствует ли в этом подходе индуцированная магнитосфера? (см. Ramstad R. et al. The global current systems of the Martian induced magnetosphere // *Nature Astronomy*. – 2020. – Т. 4. – №. 10. – С. 979-985).

Сделанные замечания носят редакционный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. Характеризуя ее в целом, можно сказать, что настоящая диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему. Результаты, вынесенные на защиту, полностью отражены и обоснованы в диссертации.

Достоверность результатов, представленных в диссертации, обеспечена квалифицированным использованием аналитических и численных методов, сопоставлением с данными современных экспериментов. В частности, для определения нормали к токовому слою в потоке солнечного ветра используются и сравниваются разные методы (на основе измерений магнитного поля несколькими аппаратами Cluster, и с использованием данных о моменте регистрации разрыва разными спутниками), что позволяет получить надежные исходные данные для последующих рассуждений.

Основные результаты и выводы, приведенные в диссертации, докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и опубликованы в 3 статьях, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах данных Web of Science и SCOPUS (Planetary and Space Science и Icarus). Дополнительно, С.Д. Шувалов является соавтором 17 статей в высокорейтинговых журналах, среди которых *Journal of Geophysical Research* и *Astrophysical Journal*.

Результаты работы С.Д. Шувалова могут быть использованы в научных организациях, ведущих работы по физике космической плазмы: ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, ПГИ, ИПФ, ИЗМИРАН, СПбГУ, МФТИ, ФИАН, ГАИШ, ИНАСАН, ИСЗФ СО РАН.

Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию. Диссертационная работа «Исследование аномалий горячего потока у Земли и Марса и происхождение дневной магнитосферы Марса» и её автореферат удовлетворяют требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям согласно «Положению о присуждении ученых сте-



пений», утвержденному Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., а её автор – С.Д. Шувалов, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «физика Солнца».

Официальный оппонент  
Калегаев Владимир Владимирович,  
доктор физ.-мат. наук,  
Заведующий отделом космических наук  
НИИЯФ МГУ



/ Калегаев В. В./  
12.05.2022

Телефон: +7-905-701-44-93  
E-mail: klg@dec1.sinp.msu.ru

Подпись Калегаева Владимира Владимировича удостоверяю.

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ  
кандидат физико-математических наук



/ Сигаева Е.А. /