

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Парунакяна Давида**  
**Алексеевича**  
**на тему: «Взаимодействие солнечного ветра с магнитным полем**  
**Меркурия»**  
**по специальности 01.03.03 – «физика Солнца»**

Диссертационная работа Парунакяна Давида Алексеевича посвящена актуальной фундаментальной проблеме космической физики: взаимодействию плазмы солнечного ветра с планетами, обладающими собственным магнитным полем. В рамках работы был сформулирован новый подход к созданию модели магнитосферы, основанный на комбинировании полуэмпирического и численного методов, и предложена его реализация для случая магнитосферы Меркурия.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Первая глава посвящена обзору литературы, во второй главе приведено описание экспериментальных данных, а также методов их обработки. Третья и четвертая главы посвящены описанию параболоидной модели магнитосферы Меркурия и комбинированной модели, соответственно; результаты моделирования также приведены в конце четвертой главы. Заключение содержит краткий обзор итогов диссертации.

Меркурий был выбран в качестве предмета исследования, поскольку магнитосфера этой планеты является в определенной степени уменьшенным и упрощенным аналогом земной. Автор диссертации предполагает, что динамику магнитосферы Меркурия можно описать, как последовательную смену квазистационарных состояний, определяемых в первую очередь собственным дипольным полем Меркурия, а также магнитными полями

токов на магнитопаузе и токового слоя хвоста. Данное приближение является обоснованным в связи с небольшими размерами магнитосферы и быстрым временем отклика на изменения в межпланетной среде. Диссертантом показано, что краткосрочные вариации геометрии магнитопаузы Меркурия существенно превосходят вариации, зависящие от таких факторов, как текущее гелиоцентрическое расстояние Меркурия, и что, таким образом, моделирование отдельных состояний магнитосферы на основе наборов данных, собранных в течение коротких промежутков времени, является оправданным.

Исходя из указанного предположения, автором в диссертации предложен двухэтапный метод моделирования магнитосферы Меркурия. Согласно данному методу, на первом этапе проводится автоматическая оптимизация параметров полуэмпирической модели магнитосферы Меркурия с целью минимизации невязки модельного поля и показаний магнитометра на борту космического аппарата MESSENGER, полученным в течение одного отдельного пересечения космическим аппаратом магнитосферы Меркурия. В результате, оптимизированные при таком подходе параметры модели далее используются для расчета магнитного поля в области вокруг Меркурия. На втором этапе результаты этих расчетов рассматриваются в качестве начального условия для численного моделирования поведения плазмы и магнитного поля в исследуемой области.

Одним из основных результатов диссертации является созданная согласно описанной методике комбинированная модель магнитосферы Меркурия, основанная на полуэмпирической параболоидной модели Меркурия и гибридного кода MULTI. Автор уделяет большое внимание техническому описанию способа сопряжения этих моделей.

С помощью данной комбинированной модели в диссертационной работе Д.А. Парунакяна получена новая достоверная информация о

структуре магнитосферы Меркурия на основе измерений магнитометра, собранных за несколько лет активного существования космического аппарата MESSENGER. Получен ряд интересных физических результатов, касающихся структуры магнитосферы Меркурия при различной направленности межпланетного магнитного поля. В частности, в результате моделирования показано, что для одинаковых значений давления солнечного ветра при южном ММП размер магнитосферы Меркурия меньше, чем при северном (что также наблюдается в случае магнитосферы Земли); раствор магнитопаузы Меркурия при южном ММП также меньше, чем при северном.

В диссертационной работе Д.А. Парунакяна решены следующие важные задачи:

- Создана база данных по полному архиву измерений магнитного поля на борту космического аппарата MESSENGER. Проведена большая работа по исправлению технических недостатков созданного NASA архива, а также специфическая научная адаптация данных для дальнейшего использования в области изучения магнитосферы.
- Разработана оригинальная методика моделирования магнитосферы, позволяющая, с одной стороны, существенно сократить время, необходимое для проведения численного моделирования, а с другой - избежать определенного произвола, вносимого подстройкой параметров полуэмпирической модели к одномерному массиву измерений вдоль орбиты космического аппарата. При этом возможности, предоставляемые такой методикой комбинированного моделирования, превосходят типичные возможности моделей каждого из указанных типов по отдельности.

Основным замечанием по диссертационной работе отметим следующее. Поставлена и в целом выполнена основная задача работы по созданию комбинированного подхода к разработке глобальной трехмерной динамической модели магнитосферы Меркурия на основании одномерного

массива данных бортового магнитометра космического аппарата MESSENGER. Однако, в диссертационной недостаточно внимания уделено еще одному важному элементу космического пространства около Меркурия, а именно, нейтральной экзосфере. Тем более, что экзосфера образуется за счет воздействия плазмы солнечного ветра на реголит на поверхности Меркурия, т.е. этот процесс разбрызгивания магнитосферными ионами с высокой энергией пылевой фракции на поверхности является собственно и граничным условием разработанной диссертантом модели. Данное замечание можно рассматривать и как рекомендацию диссертанту о возможном пути усовершенствования модели магнитосферы Меркурия за счет включения нейтральной экзосферы в его дальнейших исследованиях плазменного окружения Меркурия.

Основные результаты диссертации являются новыми и достоверными, опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных периодических изданиях, и докладывались автором на авторитетных международных и всероссийских научных форумах.

Автореферат отражает содержание диссертации.

Работа представляет собой законченное исследование, результаты которого представляются новыми и перспективными в планетных исследованиях, а предложенный подход может быть активно использован для интерпретации наблюдений и измерений в уже проведенных и планируемых космических миссиях к Меркурию, таких как миссия Европейского и Японского космических агентств BepiColombo (БепиКоломбо), которая должна быть запущена в конце 2018 г. и др. Более того, разработанные диссертантом гибридные модели будут востребованы в настоящее время или в ближайшем будущем как для подготовки, так для интерпретации ожидаемых результатов измерений плазменного окружения других объектов Солнечной системы - космического аппарата NASA JUNO, проводящего измерения в настоящее

время около планеты-гиганта Юпитер, а также будущей космической миссии ESA JUICE, нацеленной на исследование ледяных спутников в системе Юпитера и, в особенности, спутника Ганимед, единственного спутника в Солнечной системе с собственным магнитным полем.

Указанные выше замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.03 – «Физика Солнца» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

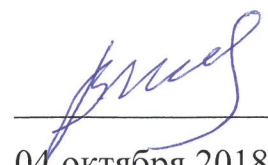
Таким образом, соискатель Парунакян Давид Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, заведующий отделом

«Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук»

Шематович Валерий Иванович



04 октября 2018 г.

Контактные данные:

тел.: 7(495)9513980, e-mail: shematov@inasan.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена  
диссертация:

05.13.18 – теоретические основы математического моделирования,  
численные методы и комплексы программ

Адрес места работы:

119017, (Субъект) г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
астрономии Российской академии наук

Тел.: 7 (495) 951-54-61; e-mail: [admin@inasan.ru](mailto:admin@inasan.ru)

Подпись сотрудника Института астрономии РАН

Шематовича Валерия Ивановича

удостоверяю:

Ученый секретарь ИНАСАН



А.М. Фатеева

04 октября 2018 г.