

Отзыв научного руководителя

на диссертационную работу Лаврухина Александра Сергеевича
«Магнитосферы небесных тел в разных условиях обтекания потоком замагниченной
плазмы»,
представленную на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертация Лаврухина А.С. посвящена исследованию магнитосфер небесных тел, находящихся в потоке солнечного ветра. Прежде всего речь идет о планетах солнечной системы, имеющих собственное магнитное поле. В последние годы бурно развивается исследование не только планет Солнечной системы, но и экзопланет, которых, скорее всего больше, чем полное число звезд. Поэтому нам следует использовать имеющуюся у нас уникальная возможность непосредственно исследовать с помощью космических аппаратов магнитосферы Меркурия, Земли, Юпитера, Сатурна, а в дальнейшем Урана и Нептуна, для тестирования имеющихся и построения новых моделей магнитосфер. Магнитосфера – это полость, которая формируется в сверхзвуковом и сверхальвеновском потоке бесстолкновительной плазмы, обтекающей планету или другое небесное тело. В этом плане работа Лаврухина А.С. представляется весьма актуальной.

Диссертация Лаврухина А.С. является новым оригинальным исследованием, которое можно рассматривать как серьезное продвижение в развитие модульного подхода к созданию универсальной модели магнитосферы. При этом задача описания магнитного поля в космосе сводится к выделению основных токовых систем, которые формируют глобальную структуру рассматриваемой магнитосферы и определяют её динамику.

Автор исходит из того, что солнечный ветер, заполняющий межпланетное пространство, имеет высокую скорость (выше скорости медленного и быстрого звука, и альвеновской скорости) и, следовательно, магнитосферы планет солнечной системы должны иметь как минимум две вложенные поверхности (два токовых слоя), разделенных переходным слоем. Прежде чем определить положение и форму головной ударной волны и магнитопаузы по данным КА MESSENGER, диссертант решил нетривиальную задачу определения координат всех 4-х точек пересечения траектории аппарата с "усреднённой" токовой поверхностью во время одного оборота MESSENGER вокруг Меркурия. КА MESSENGER совершал во время своей работы на орбите спутника Меркурия сначала два, а потом три оборота вокруг планеты в сутки и за 4-года работы мы имеем около 1400 оборотов или более 5 000 пересечений. Анализ таких массивов данных потребовала использование разработанных диссертантом специальных методик автоматической обработки информации. Используемая методика позволила выделить изменения размеров магнитосферы при перемещении КА MESSENGER из более плотного в относительно разреженную межпланетную среду (солнечный ветер) при удалении КА от Солнца во время сезонного движения Меркурия от перигелия к афелию по его эллиптической орбите. Анализ расстояния до головной ударной волны показал, что оно практически не изменено. Переходный слой оказывается своеобразным магнитным барьером, при пересечении которого вместе с потоком магнитное поле возрастает примерно в два раза.

Один из ключевых элементов магнитосферы планеты – это мощные радиационные пояса в области захваченных энергичных частиц, которые формируются в изолированных от бесконечности областях фазового пространства. Потоки здесь превосходят те, что наблюдаются вне магнитосферы, поскольку интегралы движения позволяют частицам накапливаться в течение длительного времени, которое варьирует от одного типа частиц к другому. Интенсивность потока определяется балансом источников и потерь. В диссертации Лаврухина А.С. гармонично сочетаются численные методы (метод пробных частиц) и аналитическое рассмотрение с использованием интегралов движения, определяемых симметрией Гамильтониана. Автор, отталкиваясь от сохранения энергии и обобщенного момента импульса, нашел предельную энергию и интенсивность частиц кольцевого тока, при которых магнитное поле этого тока сохраняет возможность захвата энергичных частиц в магнитосфере Меркурия, где радиационный пояс практически отсутствует. Для кольцевого тока магнитной бури в магнитосфере Земли получены ограничения на максимальный ток, при котором частицы могут оставаться захваченными длительное время.

Масштабирование магнитосферных токовых систем позволяет не только переходить от Земли к Меркурию, но и рассматривать магнитосферные возмущения как временную последовательность геометрии и параметров магнитосферных токовых систем. Проведенный автором диссертации анализ характерной магнитной бури 27 февраля 2023 года дал возможность разделить эффекты изменения кольцевого тока и токовой системы хвоста магнитосферы и определить их влияние на величину H_{sym} экваториального понижения горизонтальной компоненты и увеличение интенсивности полярных сияний и размеров аврального овала, захватывающих средние широты (около 50 градусов).

В заключительной главе диссертации автор рассматривает магнитосферу Ганимеда, Галилеева спутника Юпитера. При этом роль обтекающего потока берет на себя вращающаяся вместе с Юпитером и, соответственно, обгоняющая двигающегося с Кеплеровской скоростью Ганимеда. При этом у магнитосферы отсутствует протяженный в ночную сторону хвост из двух разнонаправленных пучков силовых линий выходящих из приполярных областей планеты. Относительное движение плазмы и проводящей оболочки спутника создает систему продольных токов, которые окаймляют пучки открытых силовых линий, связывающих Ганимед и проводящую ионосферу Юпитера. Лаврухин А.С. предлагает механизм генерации УФ свечения разреженной экзосферы Ганимеда, который дает объяснения профилям свечения, зафиксированным космическим телескопом «Хаббл».

Подчеркну, что все основные результаты и выводы получены при определяющем вкладе Лаврухина А.С., он внес определяющий вклад как в постановку задач и вывод основных формул, так и в формулировку и обсуждение полученных результатов. Им самостоятельно написаны тексты всех работ, в которых изложено содержание диссертации. Лаврухина А.С. отличает последовательность, четкость и дотошность при решении поставленных задач. Он умеет схватить суть проблемы, тщательно оценить сделанные приближения, ясно и доходчиво сформулировать полученные результаты. Им доведены до "числа" все выносимые на защиту положения. Лаврухин А.С. умело комбинирует приемы

искусственного интеллекта при автоматической обработке больших массивах спутниковой информации и проводит аналитический анализ ограничений, основанных на первых принципах.

В своем отзыве мне хотелось бы отметить, что работа Лаврухина А.С. над диссертацией проходила в тот период, когда сотрудники Лаборатории магнитосфер планет выполняли четыре больших проекта по контрактам с Минобрнауки РФ и выполняли грант РФФИ. Лаврухин А.С. был ответственным исполнителем этих проектов и на его плечи помимо решения научно-исследовательских проблем легла большая организационная и техническая работа, связанная с реализацией этих проектов. Разработанные в диссертации методы были успешно использованы нами в ходе выполнения проектов, а ответственным отношением Лаврухина А.С. к своим обязанностям и умением напряженно работать в составе группы он заслужил авторитет и уважение у своих коллег.

Диссертация написана ясным и лаконичным языком, она доступна широкому кругу специалистов. Новизна и значимость диссертации Лаврухина А.С. не вызывают сомнений. Она вносит заметный вклад в развитие магнитосфер планет, разработанные автором методики автоматической обработки многолетних данных магнитометров, установленных на КА, могут быть использованы при анализе тонких и сверхтонких токовых слоев, определяющих глобальную структуру и динамику магнитосферы.

Считаю, что диссертация Лаврухина А.С. «Магнитосферы небесных тел в разных условиях обтекания потоком замагниченной плазмы», удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым МГУ к кандидатским диссертациям, и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Научный руководитель
Доктор физико-математических наук,
Профессор
ЛМП ОКН НИИЯФ МГУ
17.04.2024

Алексеев И.И.

Подпись Алексеева И.И. заверяю:
Заместитель директора НИИЯФ МГУ

Поройков А.Ю.

17.04.2024