

Утверждаю



Директор ИКИ РАН  
академик РАН  
Л.М. Зеленый



07 октября 2015 года

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Чуйко Даниила Александровича "МГД - волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения", представленной на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы.

Вопрос о механизме формирования и возбуждения магнитогидродинамического (МГД) волновода во внешней магнитосфере, исследованию которого посвящена диссертация Д.А. Чуйко, является важной частью проблемы взаимодействия магнитосферы Земли с солнечным ветром. Работы диссертанта, выполненные совместно с его научным руководителем В.А. Мазуром, являются весомым вкладом в решение этого вопроса. Остановимся на некоторых важных результатах, представленных в четырех главах диссертации.

Первая глава диссертации посвящена построению модели - одномерной и двумерной - волновода, обсуждению основных уравнений и их решений, отвечающих сформулированным граничным условиям, и как результат - отысканию собственных частот и собственных мод волновода. В области, где ВКБ приближение не применимо, использовано линейное по координате разложение параметров среды или, что эквивалентно, коэффициентов основных уравнений. При этом уравнение сводится к уравнению Эйри, для которого известно аналитическое решение. Более того, в области применимости уравнения Эйри безразмерная координата, являющаяся аргументом функции Эйри, оказывается много больше единицы, так что области применимости уравнения Эйри и ВКБ приближения перекрываются. Это дает возможность, используя асимптотику функции Эйри, сплечь решение с ВКБ приближением и, таким образом, получить решение во всей области волновода. Что касается двумерной модели волновода, то здесь использован известный метод разделения

масштабов, или адиабатическое приближение. Именно, считая поперечный размер волновода по координате  $x$  много меньше его продольного размера по координате  $y$ , определяются локальные характеристики одномерного волновода с параметрами, отвечающими локальному значению координаты  $y$ . Ясно, что такой подход справедлив только тогда, когда параметры среды мало изменяются по  $y$  на масштабах длины волны, что приближенно выполняется в реальной ситуации.

Во второй главе исследуется неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, которая по современным представлениям является механизмом возбуждения МГД колебаний в магнитосфере и обеспечивает проникновение в магнитосферу энергии и импульса солнечного ветра. Используется модель двух полупространств, в каждом из которых среда является одномерно-неоднородной, и которые разделены тангенциальным разрывом. Получены и проанализированы зависимости инкремента неустойчивости от параметров среды, в частности, от отношения скорости звука в солнечном ветре к альфвеновской скорости в магнитосфере, но, главным образом, от скорости солнечного ветра. Показано, что основная доля энергии колебаний внутри магнитосферы сосредоточена в области альфвеновского резонанса, положение которого также зависит от безразмерного параметра, пропорционального скорости солнечного ветра. Несомненный интерес представляет полученное во второй главе соотношение между энергией колебаний, заключенной в магнитосфере (в БМЗ волноводе и в окрестности области альфвеновского резонанса) и в солнечном ветре, и зависимость этого отношения от нормированной скорости солнечного ветра.

Помимо неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, собственные моды МГД волновода могут возбуждаться в результате проникновения гидромагнитных волн из солнечного ветра. Этот процесс, который считается источником пульсаций Pс3, изучается в третьей главе диссертации. В рамках одномерной неоднородной модели получены аналитические выражения для коэффициентов отражения и поглощения волн и исследована их зависимость от частоты волны и скорости солнечного ветра. Особое внимание уделено явлению сверхотражения (когда отрицательная энергия отраженной волны превышает по модулю отрицательную энергию падающей волны) и связи этого явления со знаком энергии волн в солнечном ветре. Важным результатом анализа является установление того факта, что как в случае частичного отражения волн с положительной энергией, так и в случае сверхотражения волн с отрицательной энергией, поток энергии БМЗ волн из солнечного ветра в магнитосферу всегда положителен или равен нулю. Последнее имеет место в случае, когда точка альфвеновского резонанса находится далеко в области непрозрачности, так что диссипации энергии не происходит, и вся энергия отражается от магнитосферы.

Четвертая глава посвящена исследованию роли азимутальной неоднородности магнитосферного волновода на условия его возбуждения в результате развития неустойчивости



Кельвина-Гельмгольца или при проникновении в него волн немагнитосферного происхождения. Используется модель, в которой напряженность магнитного поля в магнитосфере является постоянной, а плотность плазмы (а с ней и альфвеновская скорость) зависит от двух поперечных координат. Поскольку магнитосферная плазма считается холодной, то неоднородность плазмы не оказывает влияния на ее внутреннее равновесное состояние. В то же время, баланс кинетического давления солнечного ветра и магнитостатического давления в магнитосфере, который является условием равновесия, позволяет рассматривать солнечный ветер как однородную среду. В результате выполненного исследования получены распределения энергии возбуждаемых волн по частоте и координате вдоль волновода для колебаний Pc3 и Pc5. Эти распределения качественно согласуются с экспериментально наблюдаемыми.

Переходя к оценке диссертационной работы Д.А. Чуйко в целом следует сказать, что работа посвящена актуальной проблеме геофизики, выполнена на высоком теоретическом уровне и содержит важные новые результаты, которые в равной степени принадлежат диссертанту и его научному руководителю.

Вместе с тем, следует сделать ряд замечаний по работе.

Важное, но совершенно не очевидное соотношение между полным возмущенным давлением плазмы и величиной  $\zeta$ , связанной со смещением плазмы  $\xi_x$  (второе соотношение в (1.2)), приведено в диссертации без вывода и пояснений.

В первой главе, наряду с подробным анализом условий применимости использованных приближений, что само по себе важно, следовало бы более подробно остановиться на результатах, сформулированных в п.1 заключения к Главе 1.

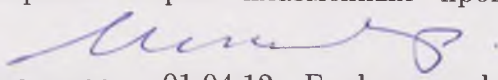
Следовало бы пояснить, почему в (2.4) выбран только один корень уравнения (2.3) для величины  $w^2$ .

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Д.А. Чуйко. Представленные в ней результаты, достоверность которых подтверждается сравнением с наблюдениями, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и докладывались на международных и всероссийских конференциях. Автореферат диссертации, помещенный на сайте ВАК, дает полное и ясное представление о содержании работы.

Результаты диссертации могут быть использованы в организациях РАН (ИКИ, ИФЗ, ИЗМИРАН, ИКФИА, ПГИ), Минобрнауки (НИИЯФ МГУ, С-Пб. ГУ).

Считаю, что диссертация Д.А. Чуйко является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Д.А. Чуйко, безусловно заслуживает

присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы.

Отзыв составил зав. лабораторией Теории плазменных процессов в космической среде ИКИ РАН, д.ф.-м.н.  Д.Р. Шкляр

Диссертация защищена по специальности: 01.04.12 - Геофизика, физ.-мат. науки.

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук

тел.: 8-495 333 45 34

e-mail: david@iki.rssi.ru

Подпись Д.Р. Шкляра заверяю

Ученый секретарь ИКИ РАН, д.ф.-м.н.



А. В. Захаров

Отзыв был обсужден и одобрен на заседании ИТС отдела Физики космической плазмы ИКИ РАН, протокол N15/0 от 6 октября 2015 г.