

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Лопина Игоря Петровича
«Исследование волн и колебаний в продольно и поперечно-неоднородных
солнечных магнитных волноводах», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца»

1. Актуальность

Колебания и волны - одно из наиболее распространенных явлений в атмосфере Солнца. Интерес к волновым процессам особенно усилился после открытия Лейтоном и др. (1962) пятиминутных колебаний. Однако настоящий фурор вызвало обнаружение 160-минутных глобальных колебаний поверхности Солнца Северным и др. (1976). Дальнейшее развитие гелиосейсмологии стимулировало открытие Ашванденом и др. (1998) поперечных МГД колебаний петель в солнечной короне.

В настоящее время анализ МГД колебаний и волн в магнитных образованиях атмосферы Солнца и звезд позволяет не только проводить диагностику плазмы и магнитных полей, но и лучше понять природу таких загадочных явлений как нагрев короны и ускорение солнечного и звездного ветров. Вместе с тем адекватное описание волновых процессов в рамках МГД из-за неоднородности плазмы и магнитного поля является далеко не тривиальной задачей. В частности, до сих пор нет однозначного понимания, как происходит распространение изгибных мод тонких магнитных трубок мод в стратифицированной атмосфере Солнца и звезд. Неясно, какое влияние оказывает на это скрученность магнитных трубок, а также продольная температурная неоднородность. Нет ясных представлений об особенностях распространения БМЗ мод в поперечно неоднородных МГД волноводах. Таким образом, актуальность диссертационной работы Лопина Игоря Петровича сомнений не вызывает.

2. Новизна исследования и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в разработке новых теоретических подходов и методов, связанных с изучением дисперсионных особенностей МГД волн в солнечных магнитных волноводах. Полученные диссертантом самостоятельно или в соавторстве результаты позволяют по-новому взглянуть на проблему нагрева солнечной короны и диагностику плазмы и магнитных полей в атмосфере Солнца.

Кратко сформулируем основные результаты работы, которые были получены впервые и представляются наиболее значимыми.

1. В линейном приближении выведено волновое уравнение, описывающее распространение изгибных мод в тонких магнитных трубках с переменным сечением в условиях неизотермической атмосферы как для изолированных, так и неизолированных магнитных трубок.
2. Доказана необходимость пересмотра результатов Спруита (1981) относительно распространения изгибных мод тонких магнитных трубок в стратифицированной изотермической атмосфере.
3. С учетом стратификации атмосферы показано, что азимутальная компонента магнитного поля в тонких магнитных трубках не влияет на дисперсионные свойства изгибных мод.
4. Установлено, что наличие продольного градиента температуры плазмы в корональных петлях приводит к отклонению от целочисленного значения отношения частоты первого обертона к частоте фундаментальной моды, что хорошо согласуется с некоторыми наблюдениями.

5. Определены дисперсионные особенности БМЗ волн в корональных волноводах с поперечной неоднородностью.

Работа имеет и практический интерес, так как позволяет интерпретировать наблюдательные данные и проводить диагностику плазмы и магнитных полей солнечной короны. Ее результаты могут быть использованы в ряде научных центров ближнего и дальнего зарубежья, а отдельные параграфы включены в учебные курсы по магнитной гидродинамике и физике Солнца.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения, выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов математического анализа, численного моделирования и глубоким пониманием физической сущности рассматриваемых явлений. Все приводимые результаты сопровождаются строгими доказательствами и необходимыми выкладками. Их достоверность подтверждается наблюдениями. Основные положения, выносимые на защиту, докладывались на многих конференциях, симпозиумах и семинарах, опубликованы в открытой печати.

4. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям (пункты 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней»)

Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения и списка литературы, включающего 102 наименования. Содержит 123 страницы и 20 рисунков.

Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, кратко изложены содержание и основные результаты диссертации с указанием их научной новизны и практической ценности.

Глава 1 посвящена описанию свойств собственных МГД мод в солнечных магнитных трубках. Кратко изложена их классическая теория для простейшего однородного случая. Приводится вывод дисперсионного волнового уравнения и детально обсуждены его свойства. Особое внимание уделяется длинноволновому пределу применительно к радиальным модам магнитной трубки в условиях солнечной короны. Обсуждаются свойства излучающих БМЗ мод.

Во второй главе рассмотрены особенности распространения линейных изгибных мод вдоль вертикальных тонких магнитных трубок в условиях стратифицированной атмосферы как в случае изотермической, так и неизотермической плазмы. При этом предполагается, что магнитное поле трубки может иметь азимутальную компоненту, значение которой линейно зависит от расстояния до оси трубки. Как следует из аналитических расчетов, она не оказывает существенного влияния на дисперсионные свойства волнового уравнения. Особое внимание уделяется условию применимости приближения тонкой магнитной трубки в условиях солнечной атмосферы. На основе системы идеальной МГД приводится вывод волнового уравнения для изолированной тонкой магнитной трубки. Как свидетельствуют оценки, учет внешнего магнитного поля не оказывает существенного влияния на его вид. В отличие от полученных ранее результатов, установлено, что в случае изотермической атмосферы распространение изгибных волн является свободным. Приводится вывод для волнового потока энергии, переносимого изгибными модами в скрученных трубках, который, как оказалось, зависит от поляризации волн. Представляется также важным заключение о хорошем согласии с результатами работы Рудермана и др. (2008), где рассмотрены особенности МГД волн в трубке с произвольным изменением поперечного сечения при малых значениях плазменного параметра бета. Из полученного дисперсионного уравнения, описывающего моды в неизотермических корональных петлях, следует, что отношение частот первого обертона и фундаментальной моды не является целочисленным.

В третьей главе проведен анализ дисперсионных особенностей мод типа перетяжек в корональных волноводах с плавно меняющимся профилем плотности плазмы в поперечном относительно магнитного поля направлении. Для плоского слоя с осесимметричным распределением плотности плазмы в приближении малого значения плазменного параметра бета получено волновое уравнение для быстрых мод. Используя ВКБ-приближение, определены волновые числа отсечки, характеризующие переход от осциллирующих мод к эванесцентным. Для случая с цилиндрической геометрии в предположении различных профилей плотности в поперечном направлении рассмотрены дисперсионные особенности собственных БМЗ мод. На основе полученных результатов предложена интерпретация некоторых наблюдений.

5. Замечания по диссертации

Прежде всего, соискателю следовало бы уделить некоторое внимание парадоксу, следующему из вариационного принципа, согласно которому в рамках идеальной МГД собственная частота колебаний формально не может быть комплексной величиной, поскольку соответствующий линейный оператор является самосопряженным, а значит, излучающие моды не могут возбуждаться. Вывод тождества (2.17), предполагающий одинаковую зависимость азимутальной и V_z -компоненты от высоты z , на мой взгляд, не является убедительным (это скорее предположение). Трудно понять связь между условием конечности дивергенции вектора смещения на оси трубки и условием несжимаемости плазмы (стр.35). В ходе рассмотрения проблемы локальной частоты отсечки неясно, почему уравнение (2.68) описывает бегущие волны лишь в том случае, если «аргумент функции Ганкеля больше ее порядка» (стр.41). Следовало бы более детально обсудить вывод о том, что увеличение продольного магнитного потока с высотой можно связать с уменьшением радиальной компоненты волнового потока. Необходимо также отметить недостаточное число ссылок на работы, посвященные как излучающим модам (см., например, Цап & Копылова, 2001, ПАЖ, 27, 859; Pascoe et al., 2007, A&A, 461, 1149), так и влиянию азимутальной компоненты на дисперсионные особенности мод тонких магнитных трубок (см., например, Cheremnykh et al., 2017, A&A, 604, id.A62). К недостаткам работы можно отнести нарушение последовательности изложения в отдельных случаях и встречающиеся в работе повторения. Так, например, уравнение (1.14), которое является промежуточным результатом при выводе волнового уравнения, следует после последнего. Аббревиатура БМЗ расшифрована и на стр. 5 и на стр. 11 стр. Между тем, что такое СБМЗ (стр.8), можно только догадываться. В диссертационной работе иногда используются жаргонные выражения и неудачные термины: «частота обрезки» (стр.8), «гравитирующая...атмосфера» (стр.10), «кинковая скорость» (стр.20).

Несмотря на отмеченные недостатки, это ни в коей мере не умаляет достоинств диссертационной работы И.П. Лопина ввиду важности и сложности затронутых проблем. Соискатель прекрасно владеет математическим аппаратом и умело им пользуется.

Вывод

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий теоретический уровень, а также актуальность и перспективность проведенных исследований. Автору удалось получить новые интересные результаты, которые вносят определенный вклад в понимание волновых процессов, наблюдаемых в атмосфере Солнца.

Автореферат в полной мере отражает содержание работы. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ в рецензируемых высокорейтинговых изданиях из перечня ВАК.

Считаю, что диссертация Лопина Игоря Петровича «Исследование волн и колебаний в продольно и поперечно-неоднородных солнечных магнитных волноводах» является законченной работой, выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем

требованиям ВАК при Минобрнауки России, а соискатель заслуживает присвоения научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца».

Официальный оппонент
ведущий научный сотрудник ФГБУН «КрАО РАН»
доктор физико-математических наук



Ю.Т. Цап

Подпись Ю.Т. Цап заверяю
Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»



А.Н. Ростпочина-Шаховская

15.05.2018

Цап Юрий Теодорович
298409, Республика Крым
Бахчисарайский р-н.
пгт. Научный, 11/4
моб.: +7-978-0204196
e-mail: yur_crao@mail.ru