

ОТЗЫВ

официально оппонента на диссертацию

Михаила Соломоновича Рудермана

«ИЗГИБНЫЕ ВОЛНЫ И КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТНЫХ ТРУБКАХ

В СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ»,

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.03.03 – физика Солнца и 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

После запуска космических аппаратов, таких как TRACE, SoHO и Nihode было получено большое количество наблюдений волн и колебаний в солнечной атмосфере. Одним из первых таких наблюдений было наблюдение изгибных колебаний корональных магнитных петель на TRACE 14 июля 1998 г. Позже подобные колебания многократно наблюдались не только в корональных магнитных петлях, но и в других магнитных структурах в солнечной атмосфере, таких как хромосферные спикулы и джеты.

После первых наблюдений изгибных колебаний они привлекли повышенное внимание исследователей, изучающих волны в солнечной атмосфере. Изгибные колебания магнитных трубок в солнечной атмосфере интересны сами по себе и заслуживают пристального изучения. Однако их главное значение связано с тем, что они являются одним из основных инструментов новой и быстро развивающейся ветви солнечной физики – корональной сейсмологии. В последние годы методы корональной сейсмологии были распространены на нижние слои солнечной атмосферы, в связи с чем теперь можно использовать более общее название – сейсмология солнечной атмосферы.

Характерной особенностью магнитных трубок, таких как корональные магнитные петли, в которых наблюдаются изгибные колебания является то, что отношения их поперечного размера к длине весьма мало. Так для корональных петель типичное значение этого отношения 0.02. Таким образом, это отношение можно использовать в качестве малого параметра при построении теории изгибных волн и колебаний в магнитных трубках в солнечной атмосфере.

В диссертации представлена систематическая асимптотическая теория изгибных волн и колебаний в тонких магнитных трубках. Диссертация состоит из трёх частей. Первая часть носит вводный характер. В ней дан исторический обзор, и представлены уравнения магнитной гидродинамики используемые в работе. Во второй части исследуются

распространяющиеся волны в магнитных трубках. Третья часть посвящена изучению стоячих волн.

В первых работах по исследованию волн и колебаний в магнитных трубках использовалась очень простая модель прямой однородной магнитной трубки. Однако оказалось, что эта модель не позволяет получить адекватное описание наблюдаемых изгибных волн и колебаний. Для использования в сейсмологии солнечной атмосферы необходимы модели учитывающие такие эффекты, как изменение плотности вдоль трубки, а также изменение размера и формы поперечного сечения.

С помощью метода асимптотических разложений в работе выведено уравнение, описывающее изгибные колебания тонкой магнитной трубки с круговым сечением, причём плотность плазмы в трубке и радиус поперечного сечения могут изменяться вдоль трубки. Это уравнение применяется к одной из важнейших задач корональной сейсмологии – определению шкалы высот в короне по наблюдаемому отношению периодов фундаментальной моды и первого обертона изгибных колебаний корональных петель. С его помощью получен фундаментальный результат: учёт расширения корональной петли приводит к уменьшению оценки шкалы высот. Так при отношении радиуса сечения у вершины петли к радиусу у её основания, равному 1.5, эта оценка уменьшается более чем вдвое по сравнению с оценкой, полученной в предположении, что радиус петли постоянен.

Среди исследователей, изучающих изгибные колебания корональных петель существует консенсус, что известные механизмы возбуждения таких колебаний в основном возбуждают фундаментальную моду, так что её амплитуда многократно превышает амплитуду первой гармоники. Этот консенсус подтверждается большинством наблюдений. Однако в некоторых случаях наблюдался узел в определённой точке на петле. Наличие узла может свидетельствовать о том, что наблюдалась не фундаментальная мода, а первый обертон. Существование узла может также быть чисто геометрическим эффектом связанным с проекцией смещения оси петли на плоскость перпендикулярную лучу зрения. В этом случае кажущийся узел может возникать, если петля неплоская. В работе представлена первая и пока единственная модель изгибных колебаний неплоской магнитной трубки, ось которой имеет не только кривизну, но и кручение. В такой трубке направление главной нормали к оси изменяется вдоль трубки. Получен важный результат: угол между главной нормалью и направлением смещения петли остаётся постоянным вдоль трубки. На основе этого результата разработан критерий позволяющий установить является ли существование узла геометрическим эффектом, или оно свидетельствует о том, что наблюдалась не фундаментальная мода, а первый обертон.

Существенная часть диссертации посвящена изучению очень интересного физического явления – резонансному затуханию изгибных колебаний. Уже в первых наблюдениях изгибных колебаний корональных магнитных петель было замечено, что колебания быстро затухали с характерным временем затухания порядка нескольких периодов колебаний. Рассматривалось несколько механизмов затухания. Однако в настоящее время является общепринятым, что механизмом затухания является резонансное поглощение. Во второй части диссертации рассматривается влияние нелинейности на скорость резонансного затухания распространяющихся изгибных волн. Выведено интегро-дифференциальное уравнение описывающее распространение нелинейной изгибной волны. С помощью этого уравнения показано, что нелинейность может существенно ускорять процесс резонансного поглощения.

В третьей части исследовано резонансное затухание стоячих волн в магнитных трубках. Получена простая формула для отношения времени затухания к периоду колебаний. С помощью этой формулы впервые получена оценка поперечной структуры корональной магнитной петли. Предложенный метод получения оценки поперечной структуры по наблюдаемому затуханию был немедленно подхвачен исследователями, занимающимися волнами в солнечной атмосфере. К настоящему времени данный метод является единственным, позволяющим получить представление о поперечной структуре корональных петель. Имеется большое количество работ, где этот метод был использован. Оценку числа этих работ можно составить, например, по цитируемости статьи, в которой данный метод был предложен,- она приближается к 250.

По содержанию диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

- При выводе уравнения для изгибных колебаний тонкой трубки не учтено влияние силы тяжести. Необходимо пояснить, почему эту силу можно не учитывать.
- При обсуждении затухания корональных петель было бы полезно кратко обсудить другие механизмы затухания, предложенные сразу после первых наблюдений изгибных колебаний корональных петель, и пояснить почему они не работают.
- В главе 3.4 исследованы изгибные колебания трубки с продольным током, и показано, что в приближении тонкой трубки наличие тока не влияет на частоты фундаментальной моды и обертонов. Однако этот результат получен для весьма частной модели трубки, в которой плотность тока постоянна внутри трубки, а магнитное поле снаружи трубки параллельно её оси и имеет постоянную величину. Это, в частности, означает, что магнитное поле разрывно на границе трубки и имеется поверхностный ток. А что будет, если плотность

тока меняется внутри трубки и поверхностный ток отсутствует? Останется ли справедливым вывод об отсутствии влияния тока на частоты изгибных колебаний?

Высказанные замечания нисколько не умаляют достоинства диссертации М.С. Рудермана, которая является фундаментальным исследованием, посвящённым динамике волновых процессов в солнечной атмосфере. Построена аналитическая теория изгибных волн и колебаний в солнечной атмосфере. Диссертация полностью отвечает всем критериям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям. Результаты, представленные в диссертации опубликованы в 30 статьях в ведущих международных изданиях. Эти результаты могут привлекаться для исследований в ИКИ РАН, ФИАН, ИЗМИРАН, ГАИШ МГУ, ИПФ РАН, ИФЗ РАН, ГАО РАН. Автореферат соответствует содержанию диссертации, а её автор, Михаил Соломонович Рудерман, несомненно заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.03.03 – физика Солнца и 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор,
Заведующий лабораторией геоэлектродинамики (403) ИФЗ РАН,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им.
О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

Похотелов Олег Александрович

Почтовый адрес: 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, строение 1

Тел.: 8 (499) 254-8805, e-mail: pokh@ifz.ru

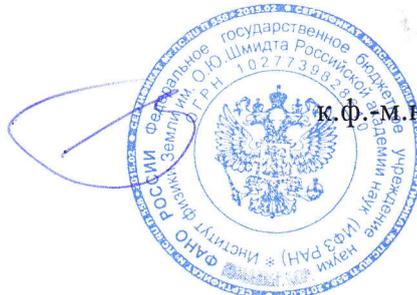
Даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Доктор физико-математических наук, профессор
Заведующий лабораторией геоэлектродинамики (403) ИФЗ РАН

Похотелов Олег Александрович

Подпись О.А. Похотелова заверяю.

Учёный секретарь ИФЗ РАН



к.ф.-м.н. В.В. Погорелов

13 мая 2016 г.