

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации ВАСЬКО Ивана Юрьевича «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В МАГНИТОСФЕРНЫХ ХВОСТАХ ПЛАНЕТ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация посвящена исследованию токовых слоев (ТС) и явлений, связанных с ними. Предложенный текст автореферата позволяет получить полное представление о заложенных идеях и методах решения поставленных задач. Данное теоретическое исследование обладает несомненной новизной и, что важно, сопряжено с экспериментальными данными, полученными с последних спутниковых миссий. Соединение данных эксперимента с теоретическими представлениями составляет сильную сторону данной работы

В разделе **Общая характеристика работы** обозначена **актуальность темы**. Подчеркнуто, что важно изучать стационарную структуру ТС, как универсального объекта физики космической плазмы. Структура задает, как считает автор, характер неустойчивостей слоя для обеспечения преобразования энергии ТС в энергию частиц.

Приведена автором совокупность конкретных космических объектов, с которыми связываются токовые слои. ТС, как известно, с 60х годов прошлого века стали удобным инструментом для исследований. ТС это своего рода «оптимальный фильтр» при обработке экспериментальных данных в космической плазме и, в тоже время, как квазиодномерный объект, ТС достаточно удобен для теоретических рассмотрений.

Однако, *основной вопрос* общего порядка, возникающий у читателя в этой части реферата, связан с условиями представления исходно 3D токонесящей космической плазмы магнитосфер в виде локальных плоских 2D и 1D токовых систем, особенно при условии изучения в них крупномасштабных процессов, чему посвящена работа. Например, геомагнитный хвост в дальней области уже не может быть представлен в виде исходного токового слоя, а в ближних областях ТС лишь локальный элемент общей θ конфигурации, который ближе к краю конфигурации становится из горизонтального вертикальным. Более того, в солнечных исследованиях сильнее представлена токовая система типа магнитной трубки. Поэтому возникает вопрос об обоснованности (условия и критерии) для представления плазмы токовым слоем с точки зрения глобальных и локальных моделей.

Другой вопрос общего порядка связан с природой токовых слоев, которые рассматривает автор. Природа электрического тока и токовых систем в плазме может быть различна и связана с различными коллективными электромагнитными модами плазмы. Эти токовые системы, возбуждаемые потоками плазмы солнечного ветра, предстают как квазистационарные токонесящие структуры, они приводят к наблюдаемым вариациям магнитного поля, которые можно связать с токовым слоем. Известно, например, что в начальных исследованиях ТС опирались на диамагнитные «толстые» токовые системы типа Харриса (бездиссипативные). Однако с 90-х годов более приемлемой для интерпретаций стала концепция «тонкого» ТС, возникшая здесь на основе работ НИИЯФ МГУ. Тонкий ТС диссипативный, «омический», с прямой или эффективной проводимостью, связанной с рассеянием частицы на «нормальной компоненте». Обе эти модели связаны с возбужденной модой индукционного вихревого тока в плазме. Автором, как нам кажется, привлекаются также модели ТС, связанные с возбужденной волновой (альвеновской и магнитозвуковой) МГД моды, формирующей магнитный хвост Венеры. Все эти три «источника моделей» и «три составные части» ТС, привлекавшиеся ранее для конструирования космических токовых систем, присутствуют в работе автора. Из автореферата не удастся понять

принципы и критерии выбора той или иной физической модели токового слоя и соответственно математической модели для интерпретации данных конкретных объектов. По-видимому, эти вопросы за краткостью текста автореферата изложены в тексте диссертации автора.

Представлена **цель работы**, состоящая из пяти пунктов, связанная с построением моделей токовых слоев для четырех космических объектов типа планет. Соответственно поставлено пять задач.

Далее в реферате дана характеристика **научной новизны** проделанной работы. Новизна связана:

- с оригинальным решением стационарных двумерных уравнений Власова в декартовых координатах (2D обобщение 1D решения Харриса) и в цилиндрических координатах (2D обобщение 1D для тета-пинча Пфирча),

- изучением ускорения частицы в сложной геометрии вихревых электрических и магнитных полей, связываемых с заданным вращением заданных источников магнитного потока. Магнитный поток задан моделью токовых систем магнитосферы,

- изучением профиля электростатического поля при пересечении наклонного заряженного токового слоя, что было невозможно для горизонтальных токовых слоев,

- изучением МГД динамики токовой системы типа магнитного хвоста, созданной движением проводящей ионосферы через внешнее магнитное поле,

- изучением тонкой структуры тонкого токового слоя из-за присутствия тяжелых ионов.

Практическая и научная ценность

- исследования осесимметричных токовых систем, по мнению автора, поможет в исследованиях магнитосфер, созданных вращениями (униполярный индуктор).

- изучение ускорения частицы в магнитосфероподобных электромагнитных полях, близких к реальным конфигурациям может носить универсальный характер.

- изучение наклонных токовых слоев - это дальнейшее развитие теории токовых слоев применительно к физике геомагнитного хвоста и обнаружение заряженных ТС.

- метод определения длины магнитного следа и его природы от космических тел, не обладающих собственным магнитным полем, но обладающих ионизированной оболочкой типа ионосферы, носит, по мнению автора, общий характер.

тонкая структура токового слоя обусловлена сложным химическим составом плазмы его формирующим, источником которой является ионосфера.

Содержание работы. **Первая**, наиболее интересная для нас глава, посвящена исследованию стационарных двумерных диамагнитных конфигураций токонесящей плазмы, заданной свободными параметрами: характерной концентрацией, постоянной температурой и постоянными скоростями дрейфа. Из этих параметров определяется характерная толщина «толстой» токовой системы – диамагнитный масштаб плазмы.

Для осесимметричных токовых систем скорость дрейфа соответствует постоянным угловым скоростям дрейфа (твердотельность, отсутствие дифференциального движения, аналог идеальной МГД). Функции распределения частиц заданы своей формой и зависят от интегралов движения по скоростям энергии и обобщенного импульса, находящихся в определенной функциональной связи. При этом постулировано, что радиальных движений вещества и разлета нет. Форма функции распределения - это «каппа» распределение, которое в пределе больших каппа переходит в максвелловское распределение. Полученные решения это обобщения решений, полученных Харрисом и Пфирчем соответственно для плоского «толстого» токового слоя (и Z пинча) и «толстого» тета-пинча. Решения по-прежнему ищутся в особой системе отсчета, где электрических полей нет. Электрическое поле квадрупольного вида от диполеобразных магнитных полей появляется только при переходе во вращающуюся систему отсчета.

Данные решения представляют интерес и основа для получения более сложных решений для состояний ТС. К этим состояниям могут приводить пинчевания одномерных токовых систем при учете диссипативных процессов. С другой стороны, двумерные конфигурации, полученные автором, сами могут быть неустойчивы и эволюционировать в одномерные диссипативные токовые системы.

Автору удалось посредством оригинального применения группового анализа найти особые автомодельные переменные, которые уравнение в частных производных приводит к уравнению второго порядка в обыкновенных производных. Желательно было бы увидеть в автореферате пояснение физического смысла этой автомодельной переменной. Для решения полученного уравнения вводятся пара «начальных условий» (физический смысл этих начальных условий из автореферата не ясен). Данное уравнение решается численно и только в частном случае, при определенном каппа, получено аналитическое решение. Вместе с тем, получены важные асимптотики полей («нормальной» компоненты магнитного поля) и распределения плазмы для произвольных каппа. Для полноты картины для осесимметричного решения можно было бы определить и *магнитный момент* токовой системы, если он существует.

По моему мнению, полученные решения соответствуют твердотельному относительному вращению электронов и ионов идеальной бездиссипативной плазмы, формирующими кольцевой ток, с замкнутыми диполеобразными силовыми линиями магнитного поля, находящимися в заданной автомодельной связи. Причем, эта самоподобная форма сохраняется для произвольных расстояний от ноля до бесконечности по обеим координатам.

Является ли автомодельная переменная единственной, и нет ли возможности построения периодических по координатам решений с магнитными островами на основе иных автомодельных переменных?

В литературе, с другой стороны, стоит проблема определения разрыва силовых линий на некотором расстоянии и формирования радиальных силовых линий (аксиальное стационарное решение типа Паркера), что сопровождается разлетом. Эта точка разрыва связывается с альвеновским радиусом. Автором не приводится какого-либо критерия, указывающего на возможность нарушения автомодельного решения, полученного на основе двух интегралов движения, кроме предельного значения параметра каппа. Известно также, что возможность получения автомодельного решения предполагают отсутствие некоторых внутренних электромагнитных масштабов в системе. *Что это за масштаб, которым пренебрегают авторы, позволяющий применить диамагнитную подстановку (функция распределения от двух интегралов движения) при поиске решения? Возможно ли получение решения, включающего открытые силовые линии на основе автомодельных решений по методам, предложенным автором, и соединения их посредством разрывов, как это представлено в идеальной МГД?*

Вторая глава посвящена изучению ускорения частиц в вихревых электромагнитных полях. Источником заданных электромагнитных полей являются периодические переходы магнитосферы из состояния, с ориентациями магнитного диполя по отношению к скорости потока вдоль, в состояние с ориентацией поперек. Соответственно меняются конфигурации диамагнитных токовых систем от конфигурации в виде плоского токового слоя в конфигурацию цилиндрического токового слоя. При этом автор для ускоряемых частиц в заданных полях получил превосходные спектры, соответствующие наблюдаемым. Основной *вопрос общего порядка* - это условия применимости приближения заданного вихревого электрического и магнитного поля, когда сами токовые системы через токи ускоряемых частиц подвержены воздействию этих полей.

Третья глава посвящена изучению наклонных токовых слоев, наклон которых возникает из-за развития МГД мод баллоного типа на фоне горизонтального токового слоя. В этом случае токовый слой в некоторых областях становится практически вертикальным, что приводит к качественно иным зависимостям в поведении компонент магнитного поля от координат и возможностям наблюдения поперечного профиля ТС. Описание ТС автор проводит в рамках электронной МГД, когда ионы остаются немагнитными. Это развитие концепции тонкого ТС. Основным достижением здесь является определение тонкими методами электрического поля наклонного ТС (параболического профиля потенциала), что свидетельствует о заряженности ТС, эвристически это очень важно.

В четвертой главе дана новая оценка длины хвоста на основе кинематических представлений о выпрямлении магнитной силовой линии внешнего магнитного поля, изгиб которой был связан зацеплением замагниченного потока за проводящую среду ионосферы, т.е. токовый слой хвоста формировался токами проводимости подобно тонкому ТС, обусловленного эффективной проводимостью плазмы. При этом для движения «освобожденной» от зацепления силовой линии анализ проводится в рамках МГД уже с малой ролью проводимости и характерные скорости движения теперь и сам токовый слой определяются магнитозвуковыми (м.з.) и альвеновскими модами плазмы и соответственно токами поляризации в условиях низкой и высокой добротности мод. В последнем случае высокой добротности возможны м.з. колебания или создание периодической структуры в дальнюю область хвоста за точкой выпрямления. Впрочем вопросы излучения м.з и альвеновских волн движущимся источником в замагниченной плазме рассматривались. Возникает *вопрос* о роли альвеновской моды, которая может погасить хвост за счет излучения возмущения силовой линии поперек хвоста вдоль магнитного поля, если стенки альвеновского резонатора, обусловленные неоднородность ТС прозрачны.

В пятой главе дан исчерпывающий анализ экспериментальных данных по изучению тонкой структуры токовых слоев в магнитосфере Венеры. Далее, на основе модели тонкого токового слоя дано обоснование присутствия в его структуре элемента, обусловленного влиянием ионов кислорода и, соответственно, дано объяснение природы двухмасштабных тонких токовых слоев.

В целом, работа представляет законченное исследование, проведенное в рамках развития трех различных математических моделей токового слоя.

В реферате присутствуют определенные, созданные автором терминологические конструкции и образы, которые в условиях сжатого реферативного изложения затрудняют порой понимание и сопоставление с результатами классической физики плазмы и электродинамики. Однако, это живой стиль изложения новых результатов и факт определенной убежденности автора в правильности своих взглядов. Вероятно, все мои вопросы общего порядка академически полно разъяснены в тексте диссертации или в соответствующих статьях автора. У меня замечаний к автореферату и к работе по существу нет.

Диссертант, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Старший научный сотрудник
ИПФ РАН, К.ф.-м.н.

Подпись В.М. Губченко заверяю
Ученый секретарь ИПФ РАН
Д.ф.-м.н.


Губченко В.М.

Шапошников В.Е.
