

ОТЗЫВ О ДИССЕРТАЦИИ

Безродных Сергея Игоревича “Сингулярная задача Римана – Гильберта, гипергеометрическая функция Лауричеллы и приложения к астрофизике”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.03 – математическая физика

В диссертации С.И.Безродных решен ряд трудных математических задач, весьма важных для изучения эффекта магнитного пересоединения, возникающего в активных областях короны Солнца и в магнитосферах компактных релятивистских объектов (например, нейтронных звезд, магнетаров и др.). Сложный физический процесс магнитного пересоединения протекает в плазме и приводит к солнечным вспышкам, разрушению магнитосфер нейтронных звезд и другим ярким явлениям, сопровождающимся высвобождением колоссального количества энергии. Изучение этого процесса привлекает внимание многих известных специалистов во всем мире.

Главы I-III диссертации посвящены получению новых конструктивных результатов по задаче Римана – Гильберта и обобщенной гипергеометрической функции Лауричеллы. Эти результаты, имеющие большое самостоятельное значение, применены в главе IV для решения указанных выше важных задач современной астрофизики, с математической точки зрения представляющих собой задачи Римана – Гильберта в сложной области.

Согласно действующим представлениям о природе солнечных вспышек, накопление достаточного количества энергии для этого самого яркого проявления активности Солнца происходит в его короне в виде энергии магнитного поля пересоединяющих токовых слоев. В течение достаточно длительного времени токовый слой препятствует перераспределению магнитных потоков в области будущей вспышки, а затем, во время самой вспышки, происходит его быстрое разрушение.

Первая двумерная магнитогидродинамическая теория токовых слоев в солнечных вспышках была создана в работах С.И.Сыроватского в 1970-е годы. В этих работах было показано, что в плазме с низким электрическим сопротивлением, которое характерно для горячей солнечной короны, в окрестности нулевой линии магнитного поля формируется тонкий токовый слой (в наши дни обычно называемый токовым слоем Сыроватского), который позволяет накопить требуемое для вспышки большое количество магнитной энергии. Б.В.Сомовым и С.И.Сыроватским было показано, что вблизи токового слоя плотность плазмы с течением времени падает, а это способствует развитию различных неустойчивостей, которые в конечном

итоге и приводят к разрушению токового слоя, сопровождающемуся высвобождением накопленной в нем энергии, т.е. к вспышке.

Вместе с тем результаты численных экспериментов по моделированию магнитного пересоединения на основе двумерных уравнений магнитной гидродинамики, проведенные К.В.Брушлинским, А.М.Заборовым и С.И.Сыроватским (Физика плазмы, 1980, Т. 6, С. 297-311), а также D.Biskamp'ом (Phys. Fluids, 1986, V. 29, pp. 1520-1531), показали, что течение плазмы в окрестности токового слоя не является непрерывным и одновременно с токовым слоем вблизи его концов дополнительно формируется система разрывных течений, которые могут быть интерпретированы как ударные волны. Таким образом, эти результаты свидетельствовали о том, что простая аналитическая модель Сыроватского требует совершенствования.

В работе Б.В.Сомова и С.А.Марковского ("Некоторые свойства магнитного пересоединения в токовом слое с ударными волнами", Физика солнечной плазмы, 1989) была предложена новая модель магнитного пересоединения, существенно обобщающая модель Сыроватского и учитывающая результаты указанных выше численных экспериментов. В этой (двумерной) модели к тонкому токовому слою присоединены четыре МГД-разрыва конечной длины. Магнитное поле является потенциальным во внешности токовой конфигурации, включающей тонкий токовый слой Сыроватского и четыре МГД-разрыва конечной длины, присоединенные симметрично к концам токового слоя. Токовая конфигурация изображается в виде системы бесконечно тонких разрезов на комплексной плоскости. С математической точки зрения магнитное поле представляет собой аналитическую функцию комплексного переменного, для которой естественные физические предположения приводят к краевой задаче Римана – Гильберта в сложной многоугольной области, представляющей собой внешность указанной системы разрезов. Именно эта задача является первой из рассмотренных и решенных в главе IV диссертации.

Еще одно обобщение модели Сыроватского необходимо в связи с возможностью распада токового слоя на параллельные токовые ленты. Такой распад слоя может возникнуть в результате разрывной (тиринг) неустойчивости или при появлении в токовом слое области аномально высокого электрического сопротивления ввиду возбуждения той или иной плазменной турбулентности. Б.В.Сомов и С.И.Сыроватский (1975) предложили простую аналитическую модель распадающегося слоя, имеющего бесконечную ширину. На края разрыва в слое действует сила магнитных натяжений, стремящаяся увеличить его, а внутри разрыва индуцируется мощное электрическое поле, способное в астрофизических условиях (например, в солнечных вспышках) ускорять заряженные частицы до высоких энергий. Второй задачей, рассмотренной в главе IV диссертации, является задача Римана – Гильберта, к которой сводится изучение структуры

магнитного поля во внешности распадающегося токового слоя конечной ширины и при наличии присоединенных к его концам ударных волн.

В диссертации С.И.Безродных решение указанных двух задач, возникающих при моделировании процесса магнитного пересоединения в активной области короны Солнца, найдено в замкнутом аналитическом виде. Для различных диапазонов изменения параметров модели построены картины магнитного поля в области пересоединения и исследовано его качественное поведение вблизи ударных волн. Полученные автором результаты, несомненно, важны для понимания природы солнечных вспышек и сопутствующих им процессов.

В большом многообразии гипотез о природе мощных космических всплесков гамма-излучения видное место занимают теоретические представления, опирающиеся на возникновение взрыва особого типа сверхновой звезды, порождающего релятивистские джеты, в тесной двойной системе с нейтронной звездой. Третьей задачей, рассмотренной в главе IV диссертации, является задача со свободной границей, к которой сводится задача о нахождении формы магнитосферы нейтронной звезды и расчете магнитного поля внутри нее при прохождении мощной ударной волны, вызванной взрывом сверхновой звезды. В результате такого взаимодействия формируется магнитосфера, граница которой определяется условием равенства газового давления набегающего потока плазмы и давления магнитного поля, заполняющего околозвездное пространство. В хвосте магнитосферы образуется пересоединяющий токовый слой, в котором происходит высвобождение магнитной энергии. Нейтронные звезды обладают магнитным полем, напряженность которого достигает 10^{12} - 10^{15} Гс. Столь большие поля ответственны за возникновение ряда наблюдаемых ярких эффектов. Магнитная сила доминирует над другими силами вплоть до значительных расстояний от звезды до границы магнитосферы. В связи с этим для описания магнитогидродинамических процессов в магнитосфере хорошо применимо приближение сильного поля.

В диссертационной работе С.И.Безродных в рамках двумерной стационарной модели построено аналитическое решение задачи о (заранее неизвестной) форме границы магнитосферы нейтронной звезды и дано явное представление для магнитного поля. В этой модели предполагается, что искомое магнитное поле является сингулярным благодаря наличию в магнитосфере диполя, которым моделируется поле звезды; кроме того, предполагается, что в хвосте магнитосферы расположен плоский нейтральный токовый слой. Изучение подобных задач со свободной границей в связи с астрофизическими приложениями имеет давнюю историю и проводилось многими авторами (например, Chapman S., Ferraro V.C.A., Альфвен Х., Жигулев В.Н., Ромишевский Е.А. Unti T., Atkinson G., Оберц П. и др.). Однако решений в замкнутой аналитической форме для моделей с токовыми слоями в литературе нет. Автор нашел оригинальный способ сведения указанной задачи со свободной границей к последовательному

решению двух задач Римана – Гильберта и применил к ним результаты, полученные в главах I-III диссертации. В результате чего аналитическое решение рассматриваемой трудной задачи было найдено. Полученные в диссертации результаты важны для объяснения природы наблюдаемых всплесков жесткого электромагнитного, в том числе гамма-излучения.

В главах I-III диссертации разработан новый конструктивный метод решения задачи Римана – Гильберта в сложных областях и метод вычисления функции Лауричеллы – обобщенной гипергеометрической функции нескольких комплексных переменных, основанный на построенных автором формулах ее аналитического продолжения. Область применения развитого в этих главах математического аппарата, разумеется, не ограничивается решенными в главе IV важными астрофизическими задачами. Результаты глав I-III, безусловно, будут востребованы при решении многих физических проблем, где возникает задача Римана – Гильберта или специальные функции, в том числе обобщенные гипергеометрические.

Диссертация С.И.Безродных представляет собой замкнутое, самостоятельно выполненное исследование, совокупность результатов которого можно квалифицировать как новое научное достижение в математической физике. Результаты диссертации опубликованы в 15 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, и прошли апробацию на ведущих научных конференциях и семинарах. Автореферат вполне отражает содержание диссертации.

По моему мнению, диссертация С.И.Безродных “Сингулярная задача Римана – Гильберта, гипергеометрическая функция Лауричеллы и приложения к астрофизике” удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.01.03–математическая физика. Считаю, что Безродных Сергей Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.03–математическая физика.

Заведующий отделом физики Солнца
Государственного астрономического
института им. П.К.Штернберга
Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова,
доктор физико-математических наук
по специальности
01.04.02 - теоретическая физика,
профессор

Б.В.Сомов

31/08/2017

Подпись В. В. Сомова
Нот. отдела соискателей



С. И. Безродных