

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института физики Земли

им. О.Ю. Шмидта РАН

член-корреспондент РАН Гихоцкий С.А.

20 апреля 2020 г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации ИФЗ РАН на диссертационную работу Климачкова Дмитрия Александровича «Нелинейные взаимодействия волн в магнитной гидродинамике вращающейся плазмы со свободной границей в поле силы тяжести», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 Теоретическая физика.

Диссертационная работа Климачкова Д.А. посвящена развитию теоретических магнитогидродинамических моделей для описания течений плазмы на Солнце, течений атмосфер нейтронных звезд и аккреционных дисков, и магнитоактивных атмосфер экзопланет. Большинство наблюдаемых плазменных объектов во Вселенной находится в состоянии вращения, и для их описания необходимо развивать теоретическое моделирование многомасштабных течений плазмы в различных астрофизических объектах. Поведение звезд, аккреционных дисков и экзопланет с магнитоактивными атмосферами описывается магнитной гидродинамикой тонких слоев плазмы со свободной границей в поле силы тяжести. Полная трехмерная система МГД уравнений вращающейся плазмы сложна как для аналитического исследования, так и для численного моделирования. Поэтому для описания таких течений астрофизической плазмы используется либо приближение мелкой воды, либо квазигеострофическое приближение. Уравнения магнитной гидродинамики вращающейся плазмы в приближении мелкой воды являются альтернативой МГД уравнениям жидкости со свободной границей в случае, когда исследуется слой малой толщины по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. Важность применения такой плазмы, а так отсутствие последовательной теории волновых процессов в такой плазме делает работу Климачкова Д.А. особенно актуальной. В этом направлении в диссертационной работе развиваются идеи геофизической гидродинамики с учетом существенных отличий в поведении плазменных течений вследствие важности магнитных полей. Результаты диссертационной работы достоверны, получены с использованием хорошо разработанных асимптотических методов многомасштабных разложений.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Полный объем диссертационной работы составляет 145 страниц и 16 рисунков. Список литературы содержит 66 наименований.

В первой главе диссертации развита МГД теория мелкой воды для вращающейся плазмы со свободной границей в поле силы тяжести, находящейся во внешнем вертикальном магнитном поле. Показано, что во внешнем вертикальном магнитном поле для вращающейся астрофизической плазмы поле скоростей является двумерным, включает только горизонтальные составляющие скорости, в то время как магнитное поле является трехкомпонентным и зависящим от горизонтальных координат. Этот важный результат получен вследствие корректного удовлетворения условия бездивергентности магнитного поля. Получены аналитические решения, описывающие линейные волны магнито-Пуанкаре и магнитострофические волны как во внешнем вертикальном, так и в горизонтальном магнитном поле. Качественный анализ дисперсионных уравнений выявил условие синхронизма для трехволновых взаимодействий волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн. Методом многомасштабных разложений получены нелинейные уравнения взаимодействующих волн и проанализированы параметрические неустойчивости для всех видов волн. Полученные в этой главе результаты относительно нелинейных взаимодействий интересны ещё и потому, что в гидродинамике нейтральной жидкости в приближении вращающейся мелкой воды волны Пуанкаре не подвергаются нелинейным взаимодействиям.

Во второй главе диссертации развивается магнитогидродинамическая теория волн Россби в приближении мелкой воды на бета-плоскости. Результаты этой главы особенно актуальны в связи с известными наблюдениями волн Россби на Солнце. Климачков Д.А. успешно обосновал и записал магнитогидродинамические уравнения мелкой воды во вращающейся плазме в приближении внешнего вертикального магнитного поля с учетом бета-эффекта, получил линейное дисперсионное уравнение волн магнито-Россби как в вертикальном, так и в горизонтальном магнитном полях и развил слабонелинейную теорию волн магнито-Россби. На основе полученных уравнений трехволновых взаимодействий предсказаны параметрические неустойчивости волн магнито-Россби и эффект параметрического усиления таких волн.

В третьей главе диссертации магнитогидродинамические уравнения мелкой воды во внешнем магнитном поле обобщаются на случай сжимаемых течений. Из полных уравнений сжимаемой вращающейся плазмы получены уравнения для крупномасштабных течений, содержащие крупномасштабную сжимаемость, при этом звуковые волны в таком приближении фильтруются. На основе полученных уравнений в теория волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн во внешнем магнитном поле обобщается на случай сжимаемых течений. Методом многомасштабных разложений получены уравнения трехволновых

взаимодействий. Для найденных параметрических неустойчивостей рассчитаны коэффициенты взаимодействия и инкременты. Магнитогидродинамическая теория мелкой воды обобщена в приближении бета-плоскости и при наличии эффектов крупномасштабной сжимаемости, развиты линейная и слабонелинейная теории волн магнито-Россби и проанализированы эффекты параметрического распада и параметрического усиления волн магнито-Россби с учетом крупномасштабной сжимаемости. Кроме того, в главе развита теория простых волн и решена задача распада произвольного разрыва для магнитогидродинамических уравнений мелкой воды при наличии сжимаемости.

Из наиболее сильных результатов работы можно отметить строгий вывод системы МГД уравнений в приближении мелкой воды во внешнем магнитном поле из полной трехмерной системы МГД уравнений для сжимаемых и несжимаемых течений. Автором впервые сформулирована задача о реализуемости трехволновых взаимодействий для волн магнито-Пуанкаре и магнито-Россби в сжимаемых и несжимаемых течениях в приближении мелкой воды, вычислены коэффициенты взаимодействия трех волн, и найдены инкременты параметрических неустойчивостей.

В целом, диссертационная работа Климачкова Д.А. представляет собой законченное исследование в области теоретической физики. Все полученные результаты актуальны, удовлетворяют требованиям новизны и могут быть в дальнейшем использованы для анализа течений в космической и астрофизической плазме. Положения, выносимые на защиту, достоверны и обоснованы. Результаты диссертационного исследования опубликованы в наиболее престижных российских и зарубежных журналах, индексируемых в международных системах цитирования, а также представлены на крупных российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Однако данное исследование не закрывает все вопросы о вихревых и волновых МГД процессах в астрофизических объектах, и ряд из них требуют более тщательного рассмотрения. В диссертационной работе основное внимание уделено волновым процессам в приближении мелкой воды для однородной плазмы. Однако, в астрофизических условиях, например на Солнце и звёздах, важную роль играют эффекты стратификации. Работа значительно выиграла бы, если бы в диссертации присутствовало обсуждение таких эффектов.

Использованное автором приближение бета-плоскости магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды достаточно адекватно описывает волны Россби в сферической системе для высоких широт. Тем не менее, представляется также интересным изучение волновых процессов и в экваториальной области. К сожалению, в работе отсутствует какое-либо обсуждение потенциальных возможностей развитой теории для экваториальных течений.

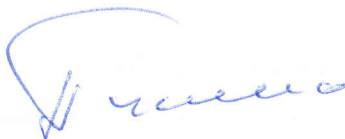
Волны магнито-Россби исследованы автором в приближении бета-плоскости для силы Кориолиса. Такое приближение описывает эффекты сферичности в декартовой системе координат. Однако такое приближение не учитывает эффекты кривизны границы в сферической системе. В диссертации отсутствует обсуждение вопроса, к чему может привести полный учёт силы Кориолиса на сфере.

Однако, приведенные замечания не снижают высокой научной ценности представленной работы. Диссертационная работа Климачкова Д.А. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 - Теоретическая физика, а ее автор – Климачков Д.А. - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Результаты работы Климачкова Д.А. могут быть использованы в ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ, МГУ, ИФЗ РАН, ИЗМИРАН, ИПФ РАН, ИНАСАН, ИПМ РАН, ФТИ РАН и других российских и зарубежных научных организациях.

Отзыв составлен зав. лабораторией физики околоземной плазмы Пилипенко В.А. и обсужден на семинаре отдела 400 ИФЗ РАН 20.04.2020 г.

д. ф.-м. н., проф.



Пилипенко В.А

123995 Россия, Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, тел. (903)618-4666, e-mail: pilipenko_va@mail.ru.