

ОТЗЫВ

официального оппонента члена-корреспондента РАН, профессора Зыбина Кирилла Петровича на диссертацию Федотовой Марии Андреевны «*Магнитогидродинамическая теория волновых процессов во вращающейся стратифицированной плазме*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика».

Диссертационная работа Федотовой Марии Андреевны посвящена изучению волновых процессов на основе магнитогидродинамической теории для течения устойчиво-стратифицированного слоя вращающейся астрофизической плазмы. Развитие теории двуслойной мелкой воды для несжимаемых двумерных течений позволило автору самосогласованно включить в рассмотрение принципиально трехмерную структуру магнитного поля, в следствие наличия внешнего вертикального магнитного поля, и эффекты стратификации. Развитие теории несжимаемых вращающихся течений в приближении Буссинеска позволило автору исследовать трёхмерные волновые процессы в устойчиво-стратифицированном слое с учётом влияния горизонтальной составляющей вектора Кориолиса. Развитие теории сжимаемых вращающихся течений в неупругом приближении позволило автору одновременно включить в рассмотрение динамики трехмерных волновых процессов влияние как сжимаемости и стратификации, так и горизонтальной составляющей вектора Кориолиса. На основе развитых теорий исследованы линейные волны, получены нелинейные уравнения трехволновых взаимодействий, исследованы неустойчивости типа распад и усиление. Аналитическое исследование нелинейных взаимодействий волн в рассматриваемых течениях необходимо для более глубокого и полного понимания волновых процессов во вращающихся течениях астрофизической плазмы и их влияния на солнечные циклы. Последовательное исследование эффектов стратификации и сжимаемости является принципиально важным для более точного описания реально наблюдаемых плазменных течений во Вселенной. Учет горизонтальной составляющей вектор Кориолиса особенно важен для изучения экваториальных течений. Таким образом, становится возможным учёт этих эффектов, не прибегая к использованию сложной для теоретического исследования и моделирования полной трехмерной системы магнитогидродинамических уравнений. Всё сказанное, несомненно, подтверждает актуальность диссертационной работы и результатов для плазменной астрофизики. Проведенные теоретические исследования выполнены с использованием асимптотических методов многомасштабных разложений, а также с использованием современных методов анализа нелинейных уравнений, что, безусловно, обеспечивает достоверность полученных результатов.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка цитируемой литературы из 126 наименований.

Во введении к диссертации Федотовой М.А. излагается современное состояние исследований в области изучения стратифицированных течений вращающейся астрофизической плазмы, сформулированы задачи и цели работы, обсуждается актуальность работы, её новизна, обоснованность и практическая значимость.

В первой главе диссертации развивается теория стратифицированных вращающихся магнитогидродинамических течений в приближении двуслойной мелкой воды во внешнем вертикальном магнитном поле. Автор впервые предложил самосогласованную систему

уравнений мелкой воды во вращающейся системе отсчета с учетом внешнего магнитного поля и стратификации, в которой условие бездивергентности магнитного поля выполняется тождественно, как следствие уравнений магнитной индукции при задании корректных начальных условий. При этом Федотова М.А. провела исследование, ранее не рассматриваемых на β -плоскости волн магнито-Пуанкаре, а также их нелинейных взаимодействий с волнами магнито-Россби. В результате анализа дисперсионных поверхностей исследуемых волн автор показал, что условие синхронизма может выполняться для различных трёхволновых конфигураций. Асимптотическим методом многомасштабных разложений Федотова М.А. получила слабонелинейное решение задачи взаимодействия волн во внешнем вертикальном и в горизонтальном магнитных полях. Для каждого из обнаруженных видов взаимодействий в работе получены системы нелинейных уравнений для медленно меняющихся амплитуд волн, причём для каждого случая автор получил аналитические выражения для коэффициентов взаимодействия волн в полученных уравнениях. Кроме того, в первой главе показано, что полученные системы уравнений предсказывают неустойчивости типа распад и усиление и найдены инкременты этих неустойчивостей.

Во второй главе диссертации развивается теория трёхмерных стратифицированных вращающихся магнитогидродинамических течений в приближении Буссинеска. Федотова М.А. впервые исследовала данные уравнения сразу для четырёх различных приближений силы Кориолиса (стандартные f - и β -плоскости, нестандартные (с учётом горизонтальной составляющей вектора Кориолиса) f - и β -плоскости). Впервые в рамках полученных уравнений автор исследовал магнитные инерционно-гравитационные волны, магнитострофические волны и волны магнито-Россби. Для всех найденных типов волн развита слабонелинейная теория: путём качественного анализа дисперсионных кривых выявлены все возможные типы трёхволновых взаимодействий, удовлетворяющих условию синхронизма; методом многомасштабных асимптотических разложений найдены уравнения для медленно меняющихся амплитуд и получены инкременты неустойчивости типа распад и усиление.

В третьей главе диссертации развивается теория сжимаемых трёхмерных стратифицированных вращающихся магнитогидродинамических течений в неупругом приближении. Федотова М.А. вывела новую систему, содержащую одновременно силу Кориолиса и магнитное поле, а также предполагающую постоянное ненулевое магнитное поле в исходном состоянии равновесия. Кроме того, полученная система уравнений впервые исследована автором в четырёх различных приближениях для силы Кориолиса. В рамках полученных уравнений исследованы магнитные инерционно-гравитационные волны, магнитострофические волны и волны магнито-Россби. Приведено сравнение найденных типов волн в сжимаемых течениях в неупругом приближении с аналогичными волнами в несжимаемых течениях в приближении Буссинеска. Кроме того, Федотова М.А. получила также принципиально новые дисперсионные соотношения для магнитных инерционно-гравитационных и магнитострофических волн, обусловленные учётом эффектов магнитного поля, сжимаемости, стратификации и горизонтальной составляющей вектора Кориолиса. Для всех найденных типов волн развита слабонелинейная теория: путём качественного анализа дисперсионных кривых выявлены все возможные типы трёхволновых взаимодействий, удовлетворяющих условию синхронизма; методом многомасштабных асимптотических разложений найдены уравнения для медленно меняющихся амплитуд и получены инкременты неустойчивости типа распад и усиление.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

В целом диссертационная работа Федотовой М.А. представляет собой цельное и законченное исследование в области теоретической физики, результаты, полученные в работе, актуальны и удовлетворяют требованиям новизны, а также могут быть широко применимы для исследования крупномасштабных вращающихся астрофизических течений с устойчивой стратификацией. Результаты, выносимые на защиту, достоверны и обоснованы. Результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и международных журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в международных базах данных, представлены на многих российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

Диссертационная работа содержит целый ряд результатов, важных для понимания линейной и нелинейной динамики волн в магнитогидродинамических течениях вращающихся слоёв плазмы с устойчивой стратификацией, однако работа не лишена отдельных недостатков. В качестве замечаний можно отметить следующие:

1. Уравнение 1.1 для вращающейся несжимаемой плазмы должно содержать кроме силы Кориолиса центробежную силу. Однако, автор не учитывает центробежную силу. По какому параметру возможно пренебречь центробежной силой?
2. При введении бета-плоскости считается, что сила Кориолиса слабо меняется при малых изменениях широты, при этом в первом приближении такое изменение учитывается. Возникает вопрос — какое неравенство на параметр бета должно выполняться, чтобы его вклад был важен, а вкладом центробежной силы при этом можно было пренебречь?
3. Решение системы уравнений 1.126-1.135 ищется в виде ряда по малому параметру ϵ . Однако значение безразмерного параметра ϵ не выписано. Чему он равен?

Сделанные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Федотовой М.А. Диссертационная работа Федотовой Марии Андреевны отвечает всем требованиям, предъявленным ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а её автор Федотова Мария Андреевна заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент
Руководитель отделения
теоретической физики (ОТФ),
главный научный сотрудник ФИАН
чл.-корр. РАН, профессор

Зыбин Кирилл Петрович

Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН ФИАН, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, с.4, тел. 8 (499) 132-65-64, 8 (499) 135-14-29, e-mail: zybinkp@lebedev.ru

Подпись Зыбина Кирилла Петровича заверяю:

Учёный секретарь ФИАН
к.ф.-м.н.

25 апреля 2022 г.



Колобов Андрей Владимирович