

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Антона Андреевича Нечаева "Магнитные и электрические квазистационарные неоднородные структуры в бесстолкновительной плазме с анизотропным распределением частиц по скоростям", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы

Диссертация А.А. Нечаева посвящена аналитическому и численному анализу ряда магнитных и электрических структур в анизотропной бесстолкновительной плазме и особенностей связанных с ними кинетических эффектов. Основные направления работы включают: 1) исследование условий формирования и свойств слоя уплотнения в электростатической ударной волне, образующейся при расширении плазмы с горячими электронами в разреженную и холодную фоновую плазму, 2) установление свойств квазимагнитостатической турбулентности, вызванной одно- или двухкомпонентной вейбелевской неустойчивостью в однородной безграничной или неоднородной разлетающейся, в том числе в присутствии внешнего магнитного поля, неравновесной плазме, 3) построение аналитической модели токового слоя в плазме с произвольным распределением частиц по энергиям и широм силовых линий магнитного поля, описывающего распределенную границу между двумя областями однородной бесстолкновительной плазмы с различными параметрами и заданными внешними полями.

В диссертации выясняются свойства и необходимые условия существования найденных уникальных самосогласованных плазменных структур, которые в существенной мере определяют ее динамику и кинетику происходящих в ней явлений. В последнее время этот круг вопросов привлекает все большее внимание как в астрофизике, так и в физике лазерной плазмы, особенно благодаря вновь появляющимся возможностям их экспериментального исследования и численного моделирования.

Диссертационную работу составляют главы 1-2, в которых анализируются формирование слоя уплотнения в электростатической ударной волне при расширении горячей плотной плазмы в разреженную ионизованную среду и образования магнитного поля в окрестности фронта этой волны за счёт возникающей анизотропии распределения горячих электронов по скоростям; главы 3-4, в которых исследуются

вейбелевские механизмы генерации различных – регулярных и турбулентных – структур тока и магнитного поля при разлёте плазмы с горячими электронами в фоновую холодную плазму или в вакуум при наличии внешнего магнитного поля; глава 5, в которой изучаются особенности двухкомпонентной – электронной и ионной – вейбелевской неустойчивости в бимаксвелловской однородной плазме; глава 6, в которой дается аналитическое построение локализованных токовых слоев в плазме с произвольными энергетическими распределениями частиц при наличии внешнего магнитного поля. Актуальность и перспективность данных исследований не вызывает сомнений.

В работе изучаются сложные пространственные структуры и динамические явления в неравновесной бесстолкновительной плазме, информацию о существовании, грубости и физической значимости которых для реальных ситуаций в космических и лабораторных условиях призваны дать представленные научные результаты. Автору диссертации удалось получить и опубликовать (с соавторами) серию результатов, которые обладают безусловной научной новизной и включают, в частности, следующие важные физические утверждения.

1. Расширение бесстолкновительной плазмы с горячими электронами в холодную фоновую плазму в определенной области параметров исходного разрыва приводит к многопоточности ионов и к образованию и длительному существованию слоя уплотнения на фронте электростатической ударной волны. Одновременно под фронтом и перед ним происходит генерация сильного неоднородного магнитного поля за счет вейбелевской неустойчивости формирующегося анизотропного распределения электронов по скоростям.
2. При инъекции плазмы с горячими электронами в фоновую холодную плазму или в вакуум при наличии внешнего магнитного поля, когда ударная волна отсутствует, в широкой области физических и геометрических параметров задачи формируются токовые структуры разных масштабов, мелкомасштабная составляющая которых определяется электронной вейбелевской неустойчивостью. Последняя обусловлена многопоточностью и анизотропным остыванием электронов и переводит вплоть до нескольких процентов их энергии в энергию квазистатического магнитного поля, созданного токовыми слоями и филаментами. Ориентация однородного внешнего магнитного поля, даже сравнительно слабого, в плоскости, параллельной границе исходного разрыва в плазме, влияет на степень нарушения симметрии

разлета плазмы и его кумуляцию, а также на условия возникновения и деформацию токовых структур.

3. Нелинейная динамика анизотропного распределения частиц и пространственного спектра магнитного поля в процессе развития двухкомпонентной вейбелевской неустойчивости в первоначально однородной бесстолкновительной плазме со сравнимыми по величине анизотропиями и энергосодержанием электронной и ионной компонент определяется эстафетными процессами захвата и высвобождения электронов из все более крупномасштабных филаментов тока и диффузионного рассеяния ионов под действием квазимагнитостатической турбулентности и создаваемого ей индукционного электрического поля. На позднем этапе эволюции токовых филаментов, первоначально созданных за счет электронной вейбелевской неустойчивости, главная роль в поддержании токов постепенно переходит от электронов к ионам, несмотря на то что вейбелевская неустойчивость последних подавлена замагничиванием первых.
4. Существует аналитически описываемый класс кинетических переходных токовых слоев между областями плазмы с различными величинами магнитного поля, параметров анизотропных распределений и концентрации частиц, в котором эти распределения зависят только от инвариантов движения частиц — энергии и обобщенного импульса. Указанный класс токовых слоев допускает широкий выбор энергетических распределений и пространственных профилей плотности тока различных фракций частиц, а также соответствующих профилей согласованного магнитного поля, в том числе с широким его силовым линиями и немонотонным изменением величины.

Сделанные выводы основаны на проведенном глубоком качественном анализе физических явлений, происходящих в рассмотренном круге задач физики плазмы. Достоверность результатов исследования определяется обоснованным выбором использованных физических моделей, согласованностью описывающих их уравнений и численных методов решения последних, непротиворечивой физической интерпретацией совокупности выясненных свойств изученных неравновесных процессов в анизотропной бесстолкновительной плазме.

Характеризуя научную деятельность А.А. Нечаева, необходимо отметить, что он начал работать в отделе 130 ИПФ РАН с 2015 г. и в том же году поступил в аспирантуру ИПФ РАН, начав выполнение данной диссертационной работы. В процессе обучения в аспирантуре в 2015-2019 гг. он освоил ряд теоретических и

численных методов физики плазмы и успешно начал применять их к поставленным конкретным задачам. Полученные результаты он представлял на различных семинарах и научных конференциях и опубликовал в ведущих российских и международных научных журналах. А.А. Нечаев является лауреатом грантов и стипендий для молодых ученых. Осуществляя аналитический и численный анализ ряда актуальных задач физики неравновесной бесстолкновительной плазмы, А.А. Нечаев показал себя высококвалифицированным, инициативным специалистом, способным самостоятельно разбираться в сложных физико-математических проблемах и находить их эффективное решение.

Считаю, что диссертация "Магнитные и электрические квазистационарные неоднородные структуры в бесстолкновительной плазме с анизотропным распределением частиц по скоростям" удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Антон Андреевич Нечаев несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Научный руководитель, заведующий отделом ИПФ РАН
член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук

Кочаровский Владимир Владиленович

04.10.2022

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Телефон (831) 416-48-94

Адрес электронной почты kochar@ipfran.ru

Подпись В.В. Кочаровского удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН

кандидат физико-математических наук



 И.В. Корякин