

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор
Института Земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
к.ф.-м.н. А. А. Абунин



24.11.2025

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук» на диссертацию Лужковского Артемия Араратовича «Самосогласованное описание нелинейного взаимодействия квазимонохроматических волн с резонансными частицами в неоднородной плазме», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - «Теоретическая физика».

Диссертация А. А. Лужковского посвящена теоретическому исследованию волновых процессов в неоднородной плазме, с акцентом на самосогласованное описание этих процессов. Основные приложения работы относятся к неравновесной магнитосферной плазме, хотя некоторые результаты, в частности те, которые получены в четвертой и пятой главах, имеют общетеоретический характер и выходят за рамки магнитосферных приложений. Поскольку магнитосфера Земли не является замкнутой системой, и ее состояние в значительной степени определяется потоками солнечного ветра и динамическими процессами в хвосте магнитосферы, магнитосферная плазма оказывается неравновесной и неустойчивой по отношению к возбуждению в ней электромагнитных возмущений в самых различных частотных диапазонах, от долей Гц до сотен кГц. Самосогласованное взаимодействие волн и частиц в значительной степени определяет динамику магнитосферной плазмы, в частности, радиационных поясов Земли. Исследованию некоторых процессов, связанных с резонансным взаимодействием волн и частиц в неоднородной плазме, и посвящена диссертация А. А. Лужковского.

Диссертация содержит Введение, пять глав, Заключение, Список литературы из 111 наименований и два Приложения. Объем работы составляет 146 страниц машинописного текста, в том числе 35 рисунков.

Во Введении изложена проблема исследования, сформулированы цель работы, ее новизна и практическая значимость. Здесь же приведены основные положения, выносимые на защиту, личный вклад автора в диссертационную работу, ее структура и объем.

Первая глава имеет вводный характер. В ней приводятся основные уравнения и формулируются подходы и приближения, используемые в работе. Поскольку большая часть диссертации посвящена самосогласованному описанию резонансного взаимодействия энергичных электронов со свистовыми волнами, которые играют важную роль в динамике магнитосферы, в первой главе приводится дисперсионное соотношение и обсуждаются особенности распространения свистовых волн в плотной плазме.

Вторая глава диссертации посвящена отысканию самосогласованного профиля амплитуды сигнала наземного ОНЧ передатчика, который формируется при распространении сигнала в магнитосферном дакте плотности в результате резонансного взаимодействия с энергичными электронами. Для решения этой задачи автор использует метод последовательных приближений, который, в итоге дает самосогласованный профиль амплитуды сигнала. Последний уже может быть использован для решения задачи о динамике субрелятивистских электронов в приближении заданного поля.

В третьей главе исследуется обмен энергией между электронами, взаимодействующими со свистовой волной на различных циклотронных резонансах. Предполагается, что свистовая волна возбуждается в экваториальной области магнитосферы на частоте и с углом волновой нормали, соответствующими максимуму инкремента. Как показали вычисления, частота, соответствующая максимальному инкременту, зависит от L -оболочки, однако соответствующий угол волновой нормали всегда равен 0° или 180° . При этом возбуждение волны происходит на первом циклотронном резонансе. Однако, в процессе распространения угол волновой нормали отклоняется от направления внешнего магнитного поля, и в игру вступают все циклотронные резонансы, главными из которых являются резонансы $n = 0$ и $n = -1$. Обмен энергией через возбуждаемую волну в основном и происходит между частицами, взаимодействующими с волной на этих трех резонансах.

Четвертая и пятая главы посвящены исследованию эволюции ленгмюровских волн и их спектральным характеристикам на основе численного решения системы уравнений Больцмана-Власова-Максвелла в однородной и неоднородной плазме для различных начальных возмущений.

Исследованы случаи, когда начальное возмущение представляет собой одну пространственную гармонику малой и большой амплитуды, а также случаи начального возмущения, состоящего из пяти пространственных гармоник. Кроме того, для всех перечисленных начальных возмущений рассмотрены случаи устойчивой и неустойчивой начальной функции распределения. Для исследования всего этого многообразия начальных условий разработан подход, который позволяет решать кинетическое уравнение – наиболее сложное и трудоемкое с точки зрения численных расчетов – только для резонансных частиц, составляющих малую долю от общего числа частиц, а остальные частицы включить в рассмотрение с помощью диэлектрической проницаемости. Помимо подтверждения известных ранее результатов для некоторых начальных условий, в диссертации получен целый ряд новых результатов, касающихся, главным образом, неоднородной плазмы. Особый интерес представляет обнаруженная модуляция во времени амплитуды волнового пакета, наблюдаемая в некоторой заданной точке, в случае широкого начального спектра волн большой амплитуды в однородной устойчивой плазме.

Замечания по диссертации сводятся к следующим.

Во второй главе диссертации, при описании подхода для поиска самосогласованного профиля амплитуды сигнала ОНЧ передатчика не представлен метод проверки устойчивости полученного решения при изменении параметров задачи. Включение такого анализа усилило бы обоснованность результатов и расширило понимание области применимости разработанного метода.

Список литературы содержит 111 источников, однако среди них хотелось бы видеть больше работ последних 5 лет по тематике диссертации. Учитывая активное развитие данного направления исследований и поток уникальных экспериментальных данных спутниковых миссий (ERG/Arase, Van Allen Probes, MMS), более полный анализ современной литературы позволил бы точнее соотнести полученные результаты с актуальным состоянием проблемы.

Еще одно замечание, которое имеет скорее характер пожелания, состоит в следующем. В ряде случаев следовало бы более четко указать, какие из приводимых результатов являются абсолютно новыми, какие являются развитием полученных ранее результатов, и какие из приводимых результатов были известны ранее.

Сделанные замечания не снижают значимость полученных в работе результатов. Тема диссертации является актуальной, а полученные в ней результаты – оригинальными и важными, что подтверждается публикациями автора в ведущих российских и международных журналах, включенных в списки ВАК, WOS и Scopus. Каждая глава диссертации содержит изложение основных результатов и выводы, которые представляются достоверными и обоснованными. Диссертационная работа А. А. Лужковского является завершенным научным исследованием, результаты которого представляют несомненный теоретический интерес и могут быть использованы при анализе и интерпретации реальных данных спутниковых экспериментов.

В целом, диссертация А. А. Лужковского соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842 с дополнениями от 21.04.2016 № 335.) Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

А. А. Лужковский является специалистом по теории неравновесных систем, в частности, неравновесной космической плазмы и, безусловно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. - «Теоретическая физика».

Диссертация А. А. Лужковского и отзыв на нее обсуждались на семинаре Теоретического отдела ИЗМИРАН 24.11. 2025 г.

Отзыв составил

Ведущий научный сотрудник ИЗМИРАН,
кандидат физ.-мат. наук



Е. М. Маслов