



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИКИ РАН

член-корреспондент РАН Петрукович А.А.

17 сентября 2024г.

Отзыв

На диссертацию **Климушкина Дмитрия Юрьевича** «Пространственная структура и механизмы генерации азимутально-мелкомасштабных ультранизкочастотных волн в космической плазме», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

Ультра-низкочастотные (УНЧ) волны в околоземном пространстве являются важным и универсальным элементом космической погоды. Геомагнитные колебания с периодами 1-10 мин являются самым мощным электромагнитным природным излучением в околоземной среде. Для понимания их природы и роли в процессах в земной магнитосфере необходимо наличие адекватной теории УНЧ волн, описывающей механизмы их генерации. Внутримангнитосферные механизмы приводят к генерации азимутально-мелкомасштабных волн. Эти механизмы могут включать в себя плазменные неустойчивости, развивающиеся при передаче волнам энергии энергичных частиц с немаксвелловскими функциями распределения. Возбуждение неустойчивостей может быть обусловлено резкими пространственными градиентами функции распределения, пучками частиц с инверсным характером функции распределения и анизотропией давления. К числу внутренних источников волн относятся также переменные токи, связанные с движением облаков частиц, инжектированными в магнитосферу во время суббурь и ионосферные токи. Построение законченной теории генерации УНЧ волн является одной из актуальных, но еще нерешенных, проблем современной физики околоземного космического пространства. Поэтому диссертационная работа Климушкина Д.Ю. находится на переднем крае современной космической физики.

Из большого числа новых результатов, полученных соискателем, на наш взгляд следует выделить следующие:

При изучении кинетических неустойчивостей, генерирующих мелкомасштабные альфвеновские волны, пространственная структура возбуждаемой волны обычно оставалась без внимания, а при изучении структуры волнового поля не учитывались неустойчивости. В работах соискателя показано, что обе проблемы следует рассматривать единым образом, что приводит к качественно новым эффектам. В частности, получен такой парадоксальный вывод: из-за трансформации альфвеновской волны из полоидальной в тороидальную наиболее быстро нарастающей оказывается не полоидальная мода, а тороидальная (хотя ее инкремент неустойчивости максимален). Соискателем было убедительно показано, что основная часть наблюдаемых полоидальных колебаний являются модами не только продольного резонатора между сопряженными ионосферами, но поперечного резонатора, возникновение которого связано с кривизной силовых линий и конечным плазменным давлением.

В работе построена новая теория компрессионных мод кинетической природы (дрейфово-компрессионных и зеркально-дрейфовых). В результате, впервые дано исчерпывающее объяснение природы буревых компрессионных пульсаций, частота которых много ниже фундаментальной альфвеновской частоты. Более того, показана возможность существования в магнитосфере резонаторов для компрессионных мод кинетической природы, в



которых волновая энергия распространяется только вдоль азимута, будучи замкнутой поперек магнитных оболочек и вдоль силовых линий.

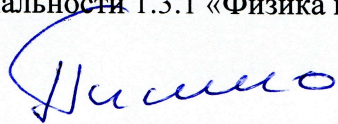
Систематическое изучение зацепленных альвеновской и дрейфово-компрессионных мод показало возможность развития кинетического аналога баллонной осцилляторной неустойчивости, отличающейся от широко известной гидродинамической баллонной неустойчивости.

Следует отметить, что моды колебаний в неоднородной плазме конечного давления в криволинейном магнитном поле, описываемые построенной соискателем теорией, являются новыми и ранее были неизвестны не только в космической физике, но и в физике лабораторной плазмы. Работы Климушкина Д.Ю. создают мощный теоретический задел, который в значительной степени еще так и не реализован при экспериментальных исследованиях волн и неустойчивостей в магнитосфере. Хотя в созданной и руководимой им группой в ИСЗФ СО РАН сотрудниками опубликованы в ведущих мировых журналах результаты анализа спутниковых данных, доказавших реальность теоретических предсказаний.

Результаты, представленные в диссертации, в полной мере опубликованы в наиболее престижных в космической геофизике журналах. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Климушкин Д.Ю. стал безусловным лидером мощной сибирской школы по теории космической плазмы. Доклады соискателя на отечественных и международных конференциях все встречались специалистами с большим интересом. Отзыв на диссертацию Климушкина Д.Ю. был заслушан и одобрен на онлайн семинаре отдела 54 ИКИ РАН 17 сентября 2024 г.

Полученные результаты представляют интерес для специалистов в области физики космической плазмы, в том числе магнитосферы и солнечной короны, и могут быть использованы в институтах РАН: ИКИ, ИКФИА, ПГИ, ИФЗ, ГАО и других организациях космического профиля.

Диссертация Климушкина Д.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В целом, диссертация соответствует всем критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».



Отзыв подготовил доктор физико-математических наук, профессор Пилипенко Вячеслав Анатольевич. Диссертация защищена по специальности: 01.03.03 – Физика Солнца.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской Академии Наук, старший научный сотрудник.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mail: pilipenko_va@mail.ru, тел.: +7-495-3331040

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской Академии Наук.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Сайт: iki.cosmos.ru, E-mail: iki@cosmos.ru, Тел.: +7-495-333-52-12