

УТВЕРЖДАЮ:



Директор ИКФИА СО РАН

С.А. Стародубцев

д.ф.-м.н.

* 1 * М. П.

20 декабря 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Института космических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук (ИКФИА СО РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» на диссертацию **Костарева Даниила Владимировича** «Кинетическая теория азимутально-мелкомасштабных компрессионных волн в магнитосферной плазме», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Диссертация Д.В. Костарева посвящена теоретическому исследованию малоизученного типа ультранизкочастотных (УНЧ) волн в диапазоне Pc5 пульсаций. Отчасти это следствие того, что этот тип волн возможно зарегистрировать только с помощью спутниковых наблюдений в магнитосфере и радарных наблюдений на Земле. Автором исследованы возможности возбуждения этих волн и их пространственно-временные характеристики.

Актуальность темы исследований обусловлена тем, что в настоящее время существующие теории не могут адекватно объяснить наблюдаемые буревые пульсации с частотами много ниже частоты альфвеновских волн на данной L-оболочке. Наблюдаемым частотам колебаний, их распространению как в направлении дрейфа энергичных протонов, так и электронов удовлетворяют колебания, так называемой, дрейфово-компрессионной моды. Эта мода получила название компрессионной поскольку в её колебаниях доминирует продольная компонента магнитного поля волны. Диссертант в настоящей работе демонстрирует возможности интерпретации колебаний, возбуждаемых в условиях бурь и суббурь, с помощью такой моды.

Оценка содержания диссертации. Диссертация объемом 85 страниц, состоит из введения, трёх глав, заключения и библиографии из 108 наименований, включая 16 рисунков.

Во введении приведены общие сведения о земной магнитосфере и геомагнитных пульсациях. Приведена классификация УНЧ-волн в зависимости от частоты, преобладающей компоненты колебаний и значения азимутального волнового числа. Рассмотрены теоретические методы исследования УНЧ-волн. Также во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследований, представлены защищаемые положения.

В первой главе приведен вывод дисперсионных уравнений компрессионных волн с помощью кинетического подхода в бесстолкновительной многокомпонентной плазме в

однородном магнитном поле, при наличии анизотропии тепловых скоростей частиц вдоль и поперёк магнитного поля.

В этой главе рассматривается волна, распространяющаяся практически перпендикулярно внешнему магнитному полю в двух случаях: в первом, при пренебрежимо малом содержании холодных электронов, в предположении, что распределение ионов изотропно, и в присутствии в плазме примеси холодных электронов, во втором случае. Показано, что в обоих случаях будет развиваться зеркальная неустойчивость, необходимым условием развития которой будет являться сильная анизотропия давления плазмы, но поведение неустойчивости будет различаться.

Во второй главе автор использует дрейфово-компрессионные волны для описания компрессионных азимутально-мелкомасштабных УНЧ волн, фиксируемых при больших отрицательных значениях Dst-индекса в ночной, вечерней и утренней областях магнитосферы, с частотой значительно ниже частоты альфвеновского резонанса для магнитных оболочек, на которых эти волны наблюдаются. Дрейфово-компрессионные волны применяются в приближении гирокинетики для аксиально-симметричной модели магнитосферы и инверсной функции распределения протонов по энергиям. Рассмотрены волны, распространяющиеся в направлении западного дрейфа протонов, имеющих немонотонное распределение по скоростям.

Показано, что дрейфово-компрессионные волны могут генерироваться инверсностью функции распределения протонов даже в случае отсутствия градиентов температуры и концентрации плазмы, когда скорость магнитного дрейфа частиц, энергия которых соответствует максимуму инверсной функции, будет больше азимутальной фазовой скорости волны. В тех же условиях, но при распределении Максвелла, неустойчивости не будет. Для распределения Максвелла неустойчивость возможна при положительном радиальном градиенте температуры горячей компоненты плазмы в магнитосфере.

В третьей главе рассмотрены дрейфово-резонансные эффекты компрессионных мод, распространяющихся в противоположном направлении, на восток, в сторону дрейфа электронов. Соответственно, резонанс возникает с дрейфовой частотой электронов. Используется модель плазмы, отличная от принятой в главе 2: и протоны, и электроны имеют примесь горячей компоненты, но если горячие протоны имеют максвелловское распределение, то электроны описываются несколько экзотической функцией, похожей на сдвинутое в область высоких энергий распределение Максвелла. Аналитически рассмотрены два предельных случая: частота волн много больше и много меньше дрейфовой частоты электронов. Промежуточный случай, как и во второй главе, проанализирован численно, с помощью чего удалось показать, что максимум инкремента соответствует как раз равенству частоты волн дрейфовой частоте. В целом результаты оказались аналогичными полученным для случая дрейфового резонанса с протонами: волны нарастают быстрее всего при наличии положительной производной в распределении частиц по энергии и разнонаправленном градиенте температуры и концентрации частиц. В этой главе приведена оценка частоты и величины инкремента нарастающих волн. Отмечается, что полученная частота (1.6 мГц) не может быть объяснена альвеновским резонансом силовых линий (field-line resonance), а инкремент близок к значениям, наблюдавшимся ранее в эксперименте.

В заключении подведены основные результаты работы.

Содержание диссертации обладает внутренним единством, отражает научные результаты и положения, выносимые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в завершённую в целом работу.

Тем не менее, имеются некоторые замечания к оформлению диссертации и пожелания к дальнейшей работе соискателя. Работа может быть рекомендована к защите после устранения небольших недоработок, в основном редакционного типа, перечисленных ниже.

1. Функция распределения частиц, взаимодействующих с компрессионной волной, приведенная в диссертации в формуле 1.3.2, является решением кинетического уравнения. Но ни уравнения, ни метода его решения автор не приводит. Вместо этого есть лишь ссылки на литературу. А речь идет о формуле, на которую опирается весь дальнейший текст! Автору необходимо привести само уравнение и подробно описать его вывод.
2. Большое количество сокращений и аббревиатур весьма затрудняют чтение текста и при этом ускользает физический смысл приводимых формул и самого текста. Это приводит к тому, что некоторые обозначения, например, величина β с различными индексами на стр. 27 остаются загадочными. Читатель должен догадываться, что это отношение давлений, и только на стр. 32 он убеждается, что эта догадка правильна. Автору необходимо существенно уменьшить применяемые сокращения и аббревиатуры. Помимо указанных небрежностей, у большей части нумерованных формул в главах 1 и 2 не проставлены номера. Это также значительно затрудняет чтение текста.
3. Не обошлось в диссертации без опечаток. На Рис. 4 названия типов поляризации УНЧ-волн не соответствуют их схематичным изображениям в верхней части рисунка (перепутаны тороидальная и полоидальная поляризации).
4. В работе недостаточно внимания уделено сравнению полученных теоретических результатов с экспериментальными данными. Приведена лишь одна оценка значений частоты и инкремента, вытекающих из развитой теории. В настоящее время имеется очень большой массив опубликованных спутниковых измерений, как параметров среды, так и характеристик, наблюдаемых в магнитосфере и на Земле волн. Поэтому автор мог бы более детально сравнить свои результаты с экспериментом, либо предложить критерии, по которым можно было бы проверить его предсказания путем сравнения с измерениями.

Тем не менее, несмотря на указанные недостатки, диссертация заслуживает высокой оценки. В ней изложена наиболее полная теория компрессионных волн, где отброшены лишь заведомо малые члены и произведено усреднение в рамках гирокинетики. Важно, что в теории описываются отклонения от равновесных значений (пучки частиц, анизотропия, пространственные неоднородности), которые приводят к генерации волн.

Автор сравнивает свои выводы с результатами, вытекающими из гидродинамики (в частности, с классической работой Веденова, Велихова и Сагдеева, 1961) и устанавливает важную роль холодных электронов даже в малой примеси.

Все выводы автора совпадают с теми заключениями, которые вытекают из рассуждений, основанных на физическом смысле. В главе 2 теория применяется к дипольной магнитосфере, в основном, с использованием ВКБ-приближения, что вполне оправдано. Рассмотрено взаимодействие волн с дрейфующими ионами и электронами. Исследованы соответствующие неустойчивости.

Ценность работы состоит в том, что она способствует пониманию многочисленных экспериментальных данных по магнитным пульсациям и позволяет лучше использовать их для диагностики процессов в земной магнитосфере. Несомненно, что представленная работа подтверждает высокую квалификацию соискателя, представляет собой законченное научное исследование и содержит новые идеи и результаты.

Содержание диссертации соответствует заявленной специальности. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертации, прошли независимую научную экспертизу и опубликованы в 8 печатных работах, из которых 4 статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования Web of Science и ADS, а также рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций. Результаты исследования неоднократно докладывались на престижных отечественных и международных научных мероприятиях и хорошо известны специалистам.

Полученные результаты могут использоваться специалистами в ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН, ИФЗ РАН, ИКФИА СО РАН, ПГИ, ИКИР ДВ РАН и других отечественных и зарубежных организациях геофизического и космического профиля.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Д.В. Костарев несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — «Физика атмосферы и гидросферы».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН 20 декабря 2019 г., протокол № 8.

Отзыв составил заместитель директора по научной работе ИКФИА СО РАН, к.ф.-м.н. по специальности 25.00.29 — «Физика атмосферы и гидросферы»



Моисеев Алексей Владимирович

Секретарь Ученого совета ИКФИА СО РАН,
к.ф.-м.н.



Бондарь Елена Дмитриевна

Почтовый адрес:
677980, г. Якутск, пр. Ленина, д.31,
ИКФИА СО РАН
ikfia@ysn.ru
Телефон: +7(4112)390-400
Факс 7 (4112) 390-450
e-mail: ikfia@ysn.ru

20 декабря 2019 г., г. Якутск