

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Широкова Евгения Алексеевича «Возбуждение пространственно-временного пакета резонансных квазистатических волн антеннами в магнитоактивной плазме», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика плазмы

Диссертационная работа Е. А. Широкова посвящена развитию теории возбуждения пространственно-временного пакета резонансных квазистатических волн антеннами в магнитоактивной плазме. В работе анализируются различные аспекты этой проблемы применительно к коротким в масштабах длины электромагнитной волны (квазистатическим) антеннам. В качестве резонансного рассматривается нижнегибридный частотный диапазон.

**Глава 1** посвящена линейной теории возбуждения, распространения и приема пакета резонансных квазистатических волн в магнитоактивной плазме. В **разделе 1.1** развиты теоретические основы метода моментов на случай квазистатических антенн в анизотропной плазме, который позволяет численно найти распределения заряда по поверхности антенн. В **разделе 1.2** излагается теория возбуждения квазипотенциальных волн нестационарным источником (сторонним зарядом) в магнитоактивной плазме. В **разделе 1.3** построенная теория применяется для нахождения нестационарного поля излучения тонких электрических диполей. Результаты теоретического рассмотрения сравниваются с результатами ионосферного эксперимента OEDIPUS-C, которому дается детальная интерпретация. В **разделе 1.4** линейная теория возбуждения поля в плазменном волноводе. В **главе 2** рассматривается ионизационное самоканалирование волн в плазме на примере формирования плазменных дактов. В **разделе 2.1** приводятся самосогласованные уравнения, используемые при решении подобных задач, т. е. для распределения электрического поля излучения, концентрации и температуры электронов. В **разделе 2.2** предлагается упрощенная модель динамики (формирования) плазменно-волнового канала и аналитически рассчитываются самосогласованные автомодельные распределения поля излучения и концентрации электронов вблизи фронта ионизации.

Основные результаты, полученные Е. А. Широковым, состоят в следующем. Во-первых, теоретически найдены эффекты группового запаздывания и аномального расплывания сигнала при распространении последнего в плазме в условиях резонанса. Во-вторых, интерпретированы результаты эксперимента OEDIPUS-C в ионосфере, в котором на расстояниях порядка десяти длин волн наблюдались запаздывание сигнала на  $(1\div 3) \cdot 10^{-4}$  с и расплывание импульса с начальной длительностью 0,3 мс в несколько раз. В-третьих, найден аналитический класс «автомодельных» пространственно-временных распределений резонансного поля излучения в линейном режиме. В четвертых, по заданным характеристикам излучающей антенны и фоновой (ионосферной) плазмы определены основные параметры плазменно-волнового канала, возбуждаемого вследствие ионизационной нелинейности. В-пятых, аналитически найдены

нестационарные самосогласованные распределения концентрации плазмы и электрического поля, соответствующие формированию этого канала. В-шестых, показано, что численный метод моментов может быть использован для расчета распределений заряда по поверхности антенн в магнитоактивной плазме.

**Актуальность работы** определяется применением современных методов анализа и описания волновых процессов в магнитоактивной плазме. Полученные автором результаты важны как для планирования будущих космических миссий, так и для правильной интерпретации ранее проведенных экспериментов.

**Научная новизна** диссертации заключается как в используемых подходах к рассмотрению процессов в ближней зоне антенны в плазме, так и в результатах расчетов параметров поля и изменений концентрации при формировании искусственных неоднородностей в ионосфере.

**Практической значимостью** работы является оценка зондовых характеристик антенны в плазме, что дает возможность по характеру сигнала оценить параметры плазмы, а также оценка возможных потерь и излучательной эффективности антенн.

При прочтении автореферата диссертации замечаний у меня не возникло, но есть некоторые моменты, которые требуют дополнительных пояснений.

- При описании антенн традиционной терминологией является "генерация" или "излучение". Автор использует термин "возбуждение". С чем это связано?

- В качестве ограничения используемого подхода автор формулирует условие квазипотенциальности, а затем, без дополнительных пояснений, говорит о квазистационарности. Было бы полезно дать пояснения, в каких условиях это справедливо.

- Важной частью работы является анализ формирования искусственной плазменной неоднородности. Автор не только построил теоретическую модель, но и сделал оценки для реалистичных параметров ионосферной плазмы. Было бы полезно сделать оценки и применимости развитого автором подхода для реальных областей приземной плазмы.

Указанные моменты не являются замечаниями и, возможно, в тексте диссертации даны ответы на эти вопросы. Должен отметить, что указанные моменты не в коем случае не снижают достоверности и значимости полученных результатов.

**Качество оформления и изложения материала** соответствует самым высоким требованиям. Текст написан хорошим языком, автор использует общепринятые обозначения, приведенные в автореферате формулы позволяют яснее понять материал.

Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 18 работах, 6 из них - в статьях в отечественных и зарубежных научных журналах из списка ВАК. Работы автора известны, в том числе, и по его неоднократным выступлениям на российских и международных конференциях.

На основании автореферата можно заключить, что диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней и Паспорту специальности 01.04.08 — физика плазмы, а ее автор, Е. А. Широков, обладает высокой научной квалификацией и безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Заведующий лабораторией  
физики магнитосферных процессов  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института космических  
исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)  
кандидат физико-математических наук  
Тел. (495) 333-14-33  
e-mail: mogilevsky@romance.iki.rssi.ru



Могилевский Михаил Менделевич

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, тел. (495) 333-52-12, e-mail: iki@cosmos.ru

Подпись Могилевского М. М. заверяю.  
Ученый секретарь ИКИ РАН  
д. ф.-м. н.



Захаров А. В.