

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации ШИРОКОВА Евгения Алексеевича "Возбуждение пространственно-временного пакета резонансных квазиэлектростатических волн антеннами в магнитоактивной плазме", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Волновые эксперименты, связанные с наблюдением и излучением волн на спутниках и на земле, требуют знания излучающих и приемных свойств антенн в магнитоактивной плазме. Калибровка измеряемых электромагнитных полей в плазме является важной и сложной проблемой этих экспериментов. Одним из направлений исследований в этой области является изучение свойств антенн для резонансных углов волновой нормали, которым отвечают волны с большими показателями преломления. Эти волны являются квазиэлектростатическими и имеют достаточно малые фазовые и групповые скорости по сравнению с нерезонансными волнами в тех же диапазонах частот. Такие волны наиболее часто наблюдаются в естественных условиях в околоземном космическом пространстве и, кроме того, они наиболее эффективно взаимодействуют с надтепловыми и энергичными частицами космической плазмы. Поэтому выполненные в диссертации исследования возбуждения квазиэлектростатических волн антеннами в магнитоактивной плазме представляются важными и актуальными. Работы автора, которые легли в основу диссертации, вышли из нижегородской школы, которая безусловно является одной из ведущих российских и мировых школ по физике плазмы и, в частности, по теории антенн в плазме.

Диссертация Е.А. Широкова содержит введение, две главы, заключение, список литературы и список публикаций автора. Во введении дан обзор некоторых результатов предшествующих исследований по исследованию антенн в плазме, сформулированы це-

ли и методы исследования, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации приведены основные уравнения и обозначения и исследована задача о распределении заряда по поверхности антенны в квазистатическом приближении. Приведена функция Грина для обобщенного уравнения Лапласа для различных частотных диапазонов и углов волновой нормали, которая позволяет свести задачу к решению линейного интегрального уравнения для поверхностной плотности заряда. Для численного решения этого уравнения использован метод моментов применительно к случаю квазистатических антенн, когда функция Грина имеет особенность на характеристиках основного уравнения, что, естественно, существенно усложняет задачу. В качестве базовой задачи для выбора оптимальных параметров и функций в методе моментов используется известное аналитическое решение для случая антенны в виде тонкого цилиндрического провода. В этой же главе рассмотрено излучение и распространение сигнала в однородной магнитоактивной плазме, который возбуждается квазимонохроматическим импульсом заряда с прямоугольной (по времени) огибающей; при этом пространственное распределение заряда по антенне описывается некоторой функцией $\rho_{ext}(\mathbf{r})$. Полученные общие соотношения использованы для отыскания структуры электромагнитного поля, возбуждаемого антенной в виде тонкого короткого диполя. Результаты расчета, полученные на основе теоретических формул, хорошо согласуются с наблюдениями ракетного эксперимента OEDIPUS-C, в котором с помощью разделенных передатчика и приемника исследовалось излучение, распространение и прием волн в широком частотном диапазоне. В последнем разделе главы, на основе анализа собственных мод плазменного волновода во внешнем магнитном поле, решается задача о распространении в таком волноводе прямоугольного импульса, возбуждаемого дипольной антенной.

Вторая глава диссертации посвящена теоретическому исследованию плазменно-волновых каналов в магнитоактивной плазме. Здесь представлена самосогласованная система уравнений для электрического поля, концентрации и температуры электронов для случая ионизационного самоканализирования волн в слабо ионизованной столкновительной магнитоактивной плазме. Эта нелинейная система уравнений сложна даже для численного счета. После ряда упрощений и непротиворечивых предположений автору удалось получить и проанализировать решение системы, которое зависит только от $z' = (z - v_{gr}t)$, где z - продольная координата в лабораторной системе отсчета, t - время и v_{gr} - постоянная групповая скорость (другими словами, является стационарным в системе отсчета,

движущейся со скоростью v_{gr}). Это решение (ошибочно названное в диссертации *авто-модельным*, хотя по общепринятой терминологии его следует называть стационарным), которое определяет профиль электрического поля и плотности электронов как функции z' вблизи фронта ионизации в нестационарной области канала, приведено для определенного набора параметров, отвечающих высоте 150 км в ночной ионосфере.

Сильной стороной диссертации является сочетание аналитических и численных методов решения уравнений, описывающих распределение заряда и тока по поверхности излучающей антенны, что позволяет вычислить входной импеданс антенны, поле излучения, излучаемую мощность и диаграмму направленности антенны. Выводы диссертации основаны на результатах, полученных на основе использования корректных математических методов и сравнения результатов с экспериментальными данными, в частности, ракетного эксперимента OEDIPUS-C в ионосфере.

Следует отметить и некоторые недостатки диссертационной работы. Раздел "Актуальность темы исследования" во введении фактически содержит достаточно формальное перечисление выполненных ранее исследований. Обзор полученных ранее результатов, безусловно, нужен, однако следовало бы сократить количество ссылок в этом разделе, но привести более глубокое обсуждение результатов предыдущих работ, имеющих непосредственное отношение к диссертации.

Говоря о расплывании импульса, обусловленном квадратичными членами разложения дисперсионного соотношения, обычно имеют в виду разложение частоты по волновым векторам вблизи центрального волнового вектора. В работе же дисперсионное соотношение изначально содержит квадратичные по k члены, и члены, пропорциональные k^4 , обусловленные тепловыми поправками, а разложение проводится по частоте вблизи несущей частоты сигнала. Поскольку в рассматриваемой неоднородной задаче одна и та же частота может соответствовать различным значениям волнового вектора, то волны, формирующие волновой пакет, имеют различные групповые скорости даже без учета конечной ширины пакета по частоте. Тем более с учетом конечной ширины пакета по частоте возникающее расплывание волнового пакета вполне естественно, и его не следует считать "аномальным".

Классический свистовой диапазон частот $\Omega_{LH} < \omega < \min(\omega_{pe}, \omega_{ce})$ систематически именуется в диссертации *нижнегибридным*.

Оценивая диссертацию Е.А. Широкова в целом, следует сказать, что в ней получены важные новые результаты по возбуждению квазиэлектростатических волн гармоническим

источником в магнитоактивной плазме, а также по ионизационному самоканалированию нижнегибридных волн в результате формирования плазменно-волнового канала. Эти результаты могут быть использованы в таких научно-исследовательских институтах как ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ПГИ и НИРФИ.

Диссертация Е.А. Широкова является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат диссертации дает полное представление о содержании работы. Результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах по тематике работы, докладывались на всероссийских и международных конференциях. В работах, выполненных диссертантом совместно с научным руководителем, существенный личный вклад диссертанта не вызывает сомнений.

Считаю, что Евгений Алексеевич Широков безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

Зав. лабораторией Теории плазменных процессов в космической среде ИКИ РАН,
д.ф.-м.н.



Давид Рувимович Шкляр

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук

тел.: 8-495 333 45 34

e-mail: david@iki.rssi.ru

Подпись Д.Р. Шкляра заверяю
Ученый секретарь ИКИ РАН, д.ф.-м.н.



А. В. Захаров