

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

Профессор

О.В. Нагорнов

» февраля 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет» МИФИ

на диссертацию Кащенко Николая Михайловича «Численное исследование неустойчивости Рэлея-Тейлора в низкоширотной ионосфере», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Общая характеристика работы

Докторская диссертационная работа Кащенко Н.М. посвящена исследованию численными методами процессов генерации и развития вследствие неустойчивости Рэлея-Тейлора плазменных пузырей в экваториальной ионосфере Земли. В работе представлены иерархия математических и численных моделей процессов развития плазменных пузырей с разным уровнем приближений и результаты исследований динамических свойств среднемасштабных неоднородностей ионосферы на основе численных экспериментов с использованием построенных численных моделей. В диссертации подробно рассматриваются различные механизмы генерации экваториальных плазменных пузырей как естественного, так и техногенного характера, а также динамические свойства одиночных и множественных плазменных пузырей в различных геофизических условиях.

Теоретическое и численное исследование динамики и пространственной структуры плазменных пузырей низкоширотной

ионосферы чрезвычайно актуально, так как эти среднемасштабные неоднородности приводят к сильной перестройке экваториальной F-области ионосферы, включая развитие мелкомасштабных неустойчивостей ионосферной плазмы. Развитие подобных сильно неоднородных и нестационарных плазменных образований оказывает существенное влияние на работу систем радиосвязи космического и наземного расположения, а также затрудняет прямые экспериментальное исследования. Актуальность темы подтверждается рядом международных программ по исследованию неоднородностей ионосферы в целом и низкоширотной области в частности, таких как TRIGGER, AMPTE, CRRES и др.

Для реализации поставленной в диссертационной работе цели соискателем были сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Исследование механизмов инициализации и процессов развития неустойчивости Рэлея-Тейлора с помощью комплекса нестационарных математических моделей низкоширотной ионосферы, описывающих вариации параметров ионосферы с разным уровнем приближений в условиях различного типа воздействий как естественного, так и техногенного характера.
2. Исследование эффектов естественных и техногенных воздействий на низкоширотную ионосферу в условиях, благоприятных для развития неустойчивости Рэлея-Тейлора.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 224 наименования, и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 253 страницы.

Во введении обоснована актуальность темы, научная новизна диссертации, сформулированы цели и задачи работы.

В первой главе описана морфология и особенности экваториальных ионосферных неоднородностей, рассмотрены физические механизмы формирования крупномасштабных и среднемасштабных неоднородностей электронной концентрации ионосферной плазмы, морфологические и динамические характеристики этих неоднородностей во взаимосвязи с физическими процессами, а также рассмотрены принципы и основные

методы построения математических моделей среднемасштабных процессов ионосферы Земли.

Во второй главе описывается комплекс математических и численных моделей, построенных автором для моделирования низкоширотной области ионосферы с учетом особенностей процессов развития неустойчивости Рэлея-Тейлора. Наибольшие трудности при построении численной реализации моделей связаны с эффектами усиления неоднородностей плазмы механизмами неустойчивости Рэлея-Тейлора, нелинейностью уравнений моделей. Построенные модели позволяют моделировать процессы генерации пузырей внутренними гравитационными волнами; механизмы генерации пузырей в F -слое облаками в E -слое; механизмы выноса молекулярных ионов на большие высоты; эффекты с обострением теплового режима пузырей.

В третьей главе описаны результаты исследований различных сценариев развития неустойчивости Рэлея-Тейлора в низкоширотной ионосферной плазме в естественных условиях и в условиях техногенных воздействий, включая:

- исследование влияния зонального внешнего электрического поля на динамику плазменных неоднородностей;
- исследование конкуренции среднемасштабных неоднородностей;
- исследование параметров температурных режимов с обострением;
- исследование эффектов выноса молекулярных ионов NO^+ на большие высоты.

В результате численных экспериментов был подтвержден классический сценарий развития ионосферных пузырей, принимающих зональную грибообразную форму и поднимающихся во внешнюю ионосферу с нарастающей скоростью, а также обнаружена возможность развития внутри пузырей режима с обострением, когда температура ионов возрастает в несколько раз за время, много меньшее характерного времени развития пузыря.

В четвертой главе приведены результаты исследований динамики развития ионосферных пузырей в условиях внешних воздействий. Рассмотрены резонансные механизмы формирования пузырей внутренними гравитационными волнами; эффекты модификации экваториальной F -области путем инжекции плазмогасящих соединений; зависимость динамики

развития плазменных пузырей в условиях нестационарного электрического поля.

Пятая глава посвящена исследованию эффектов трехмерности, не укладывающихся в двухмерное описание. Исследовано влияние таких трехмерных факторов, как продольная диффузия, педерсеновская проводимость E -области ионосферы, влияние меридиональной составляющей термосферного ветра на процессы развития пузырей.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Наиболее важными, определяющими научную новизну, результатами работы является следующие результаты:

- показано, что процессы развития неустойчивости Рэлея-Тейлора приводят к выносу молекулярных ионов, прежде всего NO^+ на высоты внешней ионосферы;
- показано, что процессы развития неустойчивости Рэлея-Тейлора приводят к температурным режимам с обострением;
- показано, что геометрическая форма плазменных пузырей, развивающихся в результате неустойчивости Рэлея-Тейлора, является инвариантом явления для одиночных и слабо взаимодействующих пузырей;
- показано, что эффекты воздействия на ионосферу антропогенных выбросов водорода, воды и других веществ могут приводить к эффектам генерации пузырей;
- показано, что при выполнении условий пространственного резонанса внутренние гравитационные волны могут приводить к развитию ионосферных пузырей;
- показано, что нестационарные внешние условия, такие как изменяющиеся фоновые электрические поля и изменяющаяся меридиональная составляющая нейтрального ветра, существенно влияют на динамику развития ионосферных пузырей как количественно, так и качественно, вплоть до подавления плазменных пузырей.

Содержание и результаты диссертации опубликованы в 46 печатных работах, включая 17 статей в журналах из перечня ВАК.

Значимость результатов диссертации для науки

Практическая значимость диссертации состоит в том, что все

полученные теоретические результаты, касающиеся особенностей генерации и развития плазменных пузырей, важны для понимания процессов, приводящих к экваториальному F-рассеянию.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что в результате реализован математический аппарат исследования процессов неустойчивости Рэлея-Тейлора в ионосферной плазме, позволяющий проводить достаточно точное численное описание, учитывать внешние возмущения естественного и антропогенного характера, что важно для развития представлений о физике околоземной плазмы. В работе исследованы фундаментальные вопросы динамики переноса плазмы и энергии в низкоширотной ионосфере Земли в различных условиях внешних воздействий. Созданные математические и численные модели могут служить базой для проведения вычислительных экспериментов по исследованию нестационарных процессов в экваториальной ионосфере. Комплекс моделей может быть использован также для целей планирования экспериментальных исследований экваториальной ионосферы. Исследование физической природы, морфологии и динамических характеристик неоднородностей электронной концентрации является одной из ключевых задач физики ионосферы. Это вызвано не только чисто научным интересом к проблеме изучения атмосферы Земли как единой динамической системы, но и необходимостью решения ряда прикладных задач радиосвязи, радиолокации, навигации и т. п., поскольку такие неоднородности оказывают заметное влияние на характеристики распространяющихся радиосигналов различных частотных диапазонов.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты исследований могут быть использованы при планировании наземных и орбитальных экспериментальных исследований неоднородностей экваториальной ионосферы Земли.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы, например, в следующих организациях: ИПГ им. академика Федорова Е.К., ИФЗ, ИЗМИРАН, ПГИ КНЦ РАН, ИПФ РАН, МФТИ, МИФИ, и др. Также отдельные результаты диссертационной работы могут быть включены в спецкурсы по математическому и численному моделированию.

Замечания и отмеченные недостатки

К диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Не исследована тонкая структура экваториальных плазменных пузырей, что могло бы представлять как теоретический, так и прикладной интерес.
2. Недостаточно исследовано влияние взаимосвязи Е-слоя и F-слоя ионосферы на динамику развития плазменных пузырей и на их структуру.
3. Недостаточно детально исследованы последние стадии процесса, выхода плазменных неоднородностей на большие высоты.
4. Не уделено достаточное внимание для оценки параллельной эффективности для трехмерных моделей.
5. Отдельные результаты диссертации отражены в автореферате слишком схематично.

Заключение ведущей организации

Характеризуя диссертацию в целом, можно отметить, что она является законченным научным трудом, выполненным на актуальную тему. Представленные результаты являются новыми, имеют практическую ценность и получены автором самостоятельно.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, имеет важное научное и практическое значение. Тематика работы соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Автореферат диссертации в достаточной мере передает содержание работы и содержит необходимую информацию об основных положениях и результатах.

Диссертационная работа Кащенко Н.М. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры прикладной математики факультета экспериментальной и теоретической физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», протокол заседания № 1 от 17 февраля 2016 года.

Зам. зав. кафедры «Прикладная математика»,
д.ф.-м.н., профессор



А.В. Крянев

Зав. кафедрой «Физика плазмы»,
д.ф.-м.н., профессор



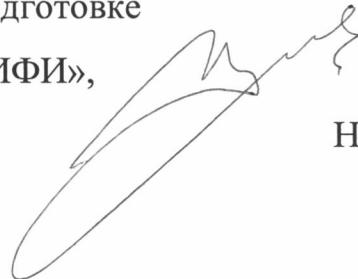
В.А. Курнаев

Доцент кафедры «Прикладная математика»,
к.ф.-м.н.



Д.И. Синельщиков

Председатель «Совета по аттестации и подготовке
научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ»,
д.ф.-м.н., профессор



Н.А. Кудряшов