

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Резниченко Юлии Сергеевны
“Плазменно-пылевая система в ионосфере Марса”,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»

Целью диссертационной работы является создание модели процессов формирования мезосферных пылевых облаков в ионосфере Марса и исследование возможности распространения в образующейся пылевой плазме пылевых звуковых возмущений. Интерес к этим исследованиям связан с большим влиянием ионосферы как Земли, так и Марса на распространение электромагнитного излучения, а также большой ролью мезосферных пылевых облаков в ионосфере Марса в снижении скорости ухода молекул атмосферы Марса в межзвездное пространство. Поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 41 рисунок и 7 таблиц. Список литературы включает 118 наименований. В первой главе обсуждаются результаты экспериментальных исследований в атмосфере Марса, важных для диссертационной работы. К ним относятся исследования химического состава и температурного режима нейтральной атмосферы, вертикального распределения аэрозолей, высотных профилей электронов и ионов плазмы, а также световых условий в дневной ионосфере. Отдельное внимание уделено случаям регистрации в атмосфере Марса пылевых облаков. Диссертант показывает, что имеющиеся на сегодняшний день сведения достаточны, для того чтобы было возможно комплексное изучение атмосферы Марса с применением методов физики пылевой плазмы.

Во второй главе представлена теоретическая модель, самосогласованным образом описывающая динамику запыленной плазмы ионосферы Марса на высотах около 100 км. В разделе 2.1 обсуждаются физические свойства ионосферы Марса, важные для физики рассматриваемых процессов. Показано, что на высотах в диапазоне 92-112 км, где пары углекислого газа пересыще-

ны, оказывается возможным формирование пылевой фракции, состоящей из частиц конденсата углекислого газа. В разделе 2.2 рассмотрено взаимодействие пылевой частицы с атмосферой и отмечено, что это взаимодействие в условиях ионосферы Марса приобретает некоторые особенности. В разделе 2.3 изложены основные положения теоретической модели, которая включает уравнения, описывающие процессы конденсации и седиментации, и уравнения, описывающие взаимное влияние пылевых частиц и заряженной компоненты ионосферы друг на друга. Поведение пылевых частиц и заряженных частиц плазмы в ионосфере задано системой из трех уравнений непрерывности, в которых учтены процессы рекомбинации, ионизации естественными источниками, стоки электронов и ионов на пылевые частицы с учетом их распределения по размерам, фототок с пылевых частиц в результате фотоэффекта. Стоки электронов и ионов на пылевые частицы заданы в рамках приближения ограниченных орбит.

В разделе 2.4 проведено обсуждение результатов, полученных в рамках предложенной диссертантом модели. Далее в разделе 2.5 проведено сравнение полученных для ионосферы Марса результатов с данными для ионосферы Земли. При этом диссертант предположил, что развитая для ионосферы Марса модель с некоторыми поправками может быть применена к условиям ионосферы Земли, так как типичный температурный режим летней полярной мезосферы дает основание полагать, что в диапазоне высот 77-94 км динамика земной ионосферы может быть рассмотрена как динамика пылевой плазмы, образованной в результате конденсации сильно пересыщенного водяного пара. Особенностью ионосферы Земли на рассматриваемых высотах является сложный состав ее заряженной компоненты, который включает в себя электроны, положительные и отрицательные ионы, так что даже при упрощенном рассмотрении ионного состава земной ионосферы описание плазмы заметно усложняется, но при этом взаимодействие пылевой частицы с атмосферой в условиях ионосферы Земли, напротив, оказывается значительно проще, поскольку плотность конденсирующихся водяных паров ничтожно мала по сравнению с плотностью азота и кислорода, составляющих основную массу атмосферного газа.

В третьей главе исследованы процессы дестабилизации нижней грани-

цы плазменно-пылевого облака. Раздел 3.1 посвящен обсуждению развития неустойчивости Рэлея-Тейлора в двухкомпонентной системе газа и пыли, вертикальное распределение которых таково, что верхнее полупространство оказывается заполнено газопылевой смесью, а нижнее – чистым газом. В разделе 3.2 рассмотрено влияние неустойчивости Рэлея-Тейлора на процессы формирования пылевых облаков, а в разделе 3.3 проведено сравнение полученных результатов с данными, полученными для ионосферы Земли.

В четвертой главе исследована возможность возбуждения в пылевой плазме ионосферы Марса на высотах около 100 км пылевых звуковых волн и проведено обсуждение вопроса о существовании в ионосфере Марса нелинейных возмущений. В разделе 4.1 рассматриваются линейные волны, возбуждение которых оказывается возможным за счет развития кинетической пыле-звуковой неустойчивости, которая может возникать на начальном этапе взаимодействия плазменно-пылевых облаков с горизонтальными ветрами. В разделе 4.2 показано, что в условиях ионосферы Марса оказывается возможной генерация не только линейных, но и нелинейных волн. В разделе 4.2.2 рассмотрена автономная система уравнений, описывающая одномерное горизонтальное распространение пылевых звуковых возмущений. Система включает в себя уравнение непрерывности и уравнение Эйлера для пылевой компоненты плазмы, а также уравнение Пуассона для электростатического потенциала. Далее в разделе 4.2.3 исследованы пылевые звуковые солитоны, а в разделе 4.2.4 рассмотрены нелинейные периодические волны.

В Заключение приведены основные результаты диссертационной работы и рассмотрены перспективы дальнейших исследований.

Научная новизна диссертации заключается в использовании последних достижений в области физики пылевой плазмы и современных результатов экспериментальных исследований атмосферы Марса. Результаты, полученные в диссертации, могут быть применены как для дальнейшего исследования свойств плазменно-пылевых образований в ионосферах планет, так и при разработке технологий производства наночастиц.

Основными достижениями автора следует признать следующие:

1. Разработка самосогласованной теоретической модели для описания динамики пылевой плазмы в ионосфере Марса на высотах около 100 км

с учетом специфических особенностей атмосферы Марса, которая позволила установить возможность формирования слоистого плазменно-пылевого облака микронных частиц конденсата углекислого газа с характерной резкой нижней границей, время формирования и существования которого определяется временем седиментации пылевой компоненты плазмы сквозь зону пересыщенных паров атмосферного газа.

2. Установление того, что микрочастицы пылевых облаков ионосферы Марса приобретают существенный электрический заряд как в процессе электрон-ионной зарядки, так и под действием фотоэффекта.
3. Демонстрация того, что важным фактором, влияющим на процесс формирования слоистой структуры плазменно-пылевого облака в условиях ионосфер Марса и Земли, является развитие на нижней границе облака неустойчивости Рэлея-Тейлора, которая ограничивает сверху допустимые размеры микрочастиц, составляющих облако.
4. Установление того, что в условиях ионосферы Марса в результате развития кинетической неустойчивости оказывается возможной генерация линейных и нелинейных пылевых звуковых возмущений, в т. ч. пылевых звуковых солитонов и нелинейных периодических волн. Определение закона дисперсии и инкремента раскачки линейных волн в запыленной ионосфере Марса и установление того, что определяющее воздействие на свойства пылевых звуковых солитонов и нелинейных периодических волн оказывает адиабатический захват электронов/ионов плазмы стенками возмущения.

При рассмотрении диссертационной работы Резниченко Ю. С. следует отметить и на имеющихся в ней недостатках:

1. Вызывает вопрос введение в величине $f = udm/dt$ в формуле (2.7) зависимости скорости u от направления изменения массы пылевой частицы. Чисто математически $u = -v$ вне зависимости от того, сублимируется или конденсируется углекислый газ на пылевой частице. Изменение импульса пылевой частицы, связанное с сублимацией или конденсацией молекул CO_2 , должно входить в силу сопротивления, тем более, используемая диссертантом формула Эпштейна содержит поправочный множитель, который позволяет учесть именно такой случай. Также нужно

отметить, что при сублимации вылетающая молекула CO_2 уносит как импульс, так и энергию, а не имеет совпадающую с пылевой частицей скорость.

2. Вероятность фотоэффекта зависит от длины волны, поэтому вынесение этой величины за интеграл в выражении для фототока на стр. 41 является весьма грубым приближением, которое может привести к большим ошибкам в расчете величины фототока.
3. На стр. 45,46 есть утверждение, что “абсолютная величина снижения ионных концентраций меньше, чем электронных, поскольку, как было сказано в предыдущем пункте, ток электронов на пылевую частицу больше тока ионов”. Это место требует пояснения, так как в установившемся режиме потоки электронов и ионов на пылевую частицу равны друг другу. Меньшая концентрация электронов является следствием условия квазинейтральности и отрицательного заряда пылевых частиц в отсутствие фототока.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертации. Полученные в ней результаты и выводы обоснованы и достоверны, что подтверждается использованием известных методов исследования пылевой плазмы, тщательностью проведения численных расчетов и сравнением их результатов с данными экспериментов. Личный вклад Резниченко Ю. С. представляется определяющим, все основные результаты диссертации получены лично ею или при ее непосредственном участии. Диссертация вносит заметный вклад в развитие физики космоса и астрономии, физики ионосферы Марса и Земли, а также физики пылевой плазмы. Результаты диссертации известны специалистам, достаточно полно представлены в публикациях в ведущих научных журналах, докладывались на отечественных и зарубежных научных конференциях. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

В целом диссертация Резниченко Ю. С. “Плазменно-пылевая система в ионосфере Марса” представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства

РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Резниченко Юлия Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, научный руководитель отделения Теоретической физики, вычислительной математики и перспективных разработок Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»
Филиппов Анатолий Васильевич



02.12.2025

Контактные данные:

тел.: 8(495)8415262, e-mail: fav@triniti.ru

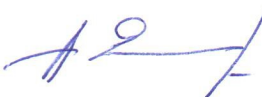
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.08 – «Физика плазмы»

Адрес места работы:

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, владение 12, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», Отделение теоретической физики, вычислительной математики и перспективных разработок,
тел.: 8(495)8415776; e-mail: liner@triniti.ru

Подпись научного руководителя отделения Теоретической физики, вычислительной математики и перспективных разработок АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» А. В. Филиппова удостоверяю:

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,
к.ф.-м.н.



А. А. Ежов

02.12.2025

