

1. *Список авторов-сотрудников ИКИ РАН:*

Ю.С. Резниченко (м.н.с., 27 лет), **С.И. Попель**, **А.Ю. Дубинский**, **Ю.Н. Извекова**

Заявка подается в номинации «лучшая научная работа или цикл работ молодого учёного».

2. *Название:*

Цикл работ о плазменно-пылевых структурах ионосфер Земли и Марса

3. *Ссылки на публикации:*

а) **Ю.С. Резниченко**, А.Ю. Дубинский, С.И. Попель, Плазменно-пылевая система в марсианской ионосфере // Физика плазмы. 2023. Т. 49. № 1. С. 57-66.

б) **Ю.С. Резниченко**, А.Ю. Дубинский, С.И. Попель, К вопросу о формировании облаков в запыленной ионосфере Марса // Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 117. № 6. С. 420-427.

в) А.Ю. Дубинский, **Ю.С. Резниченко**, С.И. Попель, О кинетических особенностях седиментации пылевых частиц в атмосфере Марса // Астрономический вестник. 2023. Т. 57. № 3. С. 225-231.

г) **Ю.С. Резниченко**, А.Ю. Дубинский, С.И. Попель, О влиянии неустойчивости Рэлея-Тейлора на формирование пылевых облаков в мезосфере Марса // Астрономический вестник. 2024. Т. 58. № 3. С. 269-275.

д) **Ю.С. Резниченко**, А.Ю. Дубинский, С.И. Попель, Ионосферные плазменно-пылевые облака: влияние неустойчивости Рэлея-Тейлора // ЖЭТФ. 2024. Т. 166. № 3(9). С. 422-433.

е) **Ю.С. Резниченко**, Ю.Н. Извекова, С.И. Попель, К вопросу о нелинейных пылевых звуковых возмущениях в ионосфере Марса // Физика плазмы. 2024. Т. 50. № 11. В печати.

4. *Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:*

Проблема изучения природной пылевой плазмы и мелкомасштабных пылевых частиц в ионосферах Земли и Марса. Актуальность научной проблемы обусловлена существенным теоретическим и практическим интересом к исследованиям атмосфер данных планет. На сегодняшний день на Марсе успешно работают, например, такие миссии как MarsExpress, ExoMars Trace Gas Orbiter, Mars Exploration Rover Opportunity, Mars Science Laboratory Curiosity и др. Исследования запыленной ионосферы Земли помимо общетеоретического значения (развитие методов исследования пыли и пылевых частиц в ионосферах других планет) имеют и сугубо прикладной интерес, т.к. полезны для ряда смежных дисциплин (физика атмосферы, геофизика, экология); нельзя исключить и наличия взаимосвязи плазменно-пылевых явлений земной мезосферы с процессами глобального потепления. Комплексное изучение влияния мелкомасштабных частиц пыли на динамику природной ионосферной плазмы необходимо для адекватной обработки и интерпретации данных наблюдений, разработки новых экспериментальных методов исследования планет, моделирования планетных атмосфер.

5. *Конкретная решаемая в работе задача и её значение:*

- а) Описание особенностей запыленной ионосферы Марса по сравнению с запыленной ионосферой Земли;
- б) Моделирование процессов формирования и эволюции плазменно-пылевых облаков в ионосферах Земли и Марса;
- в) Изучение влияния на формирование плазменно-пылевых облаков неустойчивости Рэля–Тейлора;
- г) Исследование пылевых звуковых возмущений (солитонов и нелинейных периодических волн), распространяющиеся в плазменно-пылевых облаках ионосферы Марса.

Значимость задач обусловлена тем, что их решение позволяет расширить представление о плазменно-пылевых процессах, происходящих в ионосферах Земли и Марса, в частности, о процессах формирования плазменно-пылевых облаков. Данные задачи также актуальны для разработки новых экспериментальных методов исследования планет, моделирования эволюции плазменной компоненты запыленных ионосфер, адекватной обработки и интерпретации данных наблюдений.

Работы представленного цикла включают в себя статьи, содержащие новые оригинальные результаты.

6. *Используемый подход, его новизна и оригинальность:*

Теоретические исследования и численное моделирование с опорой на данные наблюдений. Применялись методы физической кинетики, теории пылевой плазмы, теории устойчивости, нелинейной физики, теории солитонов.

7. *Полученные результаты и их значимость:*

а) Представлена самосогласованная модель формирования и эволюции плазменно-пылевых облаков в ионосферах Земли и Марса. Получены теоретические значения характерных размеров пылевых частиц облака и их зарядов, предсказываемые моделью. Представлены примеры высотного распределения пылевых частиц ионосферы, полученные на основе модели. Показано, что в рамках данной модели оказывается возможным проиллюстрировать образование слоистой структуры пылевого облака. Для ионосферы Марса, кроме того, показано, что при отсутствии фотоэффекта пылевые частицы приобретают отрицательный заряд и ожидается понижение концентраций ионов и электронов плазмы. В случае наличия фотоэффекта частицы с металлическими примесями несут на себе положительный заряд, концентрация электронов плазмы при этом повышается при сохранении понижения ионной концентрации.

б) Показано, что в случае ионосферы Марса тормозящее воздействие атмосферы, в отличие от земного случая, существенно различается для режимов конденсации и сублимации паров углекислого газа. Так, основным тормозящим фактором в зоне конденсации оказывается налипание на микрочастицу молекул конденсата, в то время как в зоне сублимации основным тормозящим фактором является вязкое кнудсеновское трение. На Земле влияние таких факторов, как взаимодействие пылевых частиц с налипающими молекулами водяного конденсата и уменьшение силы вязкого кнудсеновского трения в области нуклеации, снижается. В то же

время динамика заряженной компоненты ионосферы на Земле оказывается более сложной, чем на Марсе.

в) Показано, что важным фактором, влияющим на формирование плазменно-пылевых мезосферных облаков, является неустойчивость Рэля–Тейлора, которая приводит к тому, что плазменно-пылевые облака могут существовать лишь при достаточно малых значениях размеров составляющих их пылевых частиц, а также к тому, что имеется ограничение (сверху) на толщину плазменно-пылевого облака.

г) Продемонстрирована возможность распространения в ионосфере Марса в плазменно-пылевых облаках на высотах около 100 км пылевых звуковых солитонов и нелинейных периодических волн. Исследована зависимость амплитуды солитона от величины заряда пылевых частиц и концентрации электронов плазмы, показано, что важным фактором, влияющим на параметры солитона, является адиабатический захват электронов (ионов) плазмы. Показано, что величина пространственного периода нелинейной волны может быть достаточной для её регистрации космическими аппаратами.

В статьях цикла приводится описание пыли и пылевой плазмы в ионосферах Земли и Марса. Результаты, полученные в работах цикла, позволяют расширить представление о плазменно-пылевых процессах, происходящих в запыленных ионосферах планет, и пылевой плазме вообще. Решение представленных задач позволяет учесть влияние мелкомасштабных пылевых частиц на динамику планетных ионосфер, а также необходимо для адекватного анализа результатов имеющихся и будущих наблюдений.