

**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Морозовой Татьяны Игоревны
«Нелинейные эффекты в процессах зарядки пылевых частиц и в пылевой
плазме в окрестностях Луны и Земли»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.02 «Теоретическая физика».**

Диссертация Т.И. Морозовой посвящена теоретическому изучению свойств пылевой плазмы и процессов зарядки пылевых частиц применительно к нижней ионосфере Земли и к окрестностям Луны, а также в лабораторных условиях. Следует отметить, что вопросы, связанные с изучением влияния пылевых частиц на свойства плазмы, представляют большой интерес для различных областей физики. Различные физические процессы в пылевой плазме привлекают пристальное внимание и исследуются на протяжении многих десятков лет. Важную роль пылевая плазма играет в космическом пространстве (как вблизи объектов Солнечной системы, так и в дальнем космосе). Освоение космического пространства ставит серьезные вопросы, касающиеся зарядки и динамики пылевых частиц, а также их взаимодействия с космическими аппаратами. В частности, одним из важных вопросов будущей Российской программы по освоению Луны является вопрос об электризации и динамике лунной пыли вблизи поверхности Луны. Поэтому работа Т.И. Морозовой является актуальной. Она состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 119 страниц текста, 20 рисунков, 2 таблицы, 191 ссылку на литературу.

Первая глава диссертации - вводная. В ней приводятся примеры пылевой плазмы в различных условиях. В частности, дается краткое описание пыли, которая встречается вблизи различных объектов Солнечной системы (вблизи поверхности Марса и Луны, в атмосфере Титана, в кольцах Юпитера и Сатурна). Значительное внимание уделено возникновению пылевой плазмы в нижней ионосфере Земли, а также обсуждению, каким образом она себя проявляет в различных процессах.

Во второй главе диссертации обсуждаются механизмы зарядки пылевых частиц. Важной частью этой главы является рассмотрение вопроса об аномальной зарядке под действием мощного рентгеновского излучения и возможное разрушение пылевых частиц под действием электростатических сил. Помимо этого исследуется механизм аномальной зарядки высокоэнергичным (несколько десятков кэВ) потоком электронов. Показано, что для нахождения стационарного заряда на поверхности пылевой частицы при интенсивном воздействии энергичных электронов от внешнего источника помимо обычных токов необходимо учитывать ток автоэлектронной эмиссии, приводящий к снижению потенциального барьера для выхода электронов с поверхности и тем самым ограничивающим величину стационарного заряда пылинки.

В третьей главе диссертации изучаются волновые процессы, связанные с колебаниями пылевой плазмы в приповерхностном слое Луны. Следует отметить, что первые сведения о свойствах лунной пыли и ее движении были получены еще в семидесятые годы

прошлого столетия во время американской пилотируемой программы Аполлон и с помощью советских автоматических станций. Однако эти результаты поставили новые вопросы, на которые ясных ответов не получено до сих пор. Поэтому дальнейшие исследования в данной области (как теоретические, так и экспериментальные) представляются весьма своевременными. В начале главы обсуждаются возможные характеристики фотоэлектронов у поверхности Луны (их распределение по энергиям, работа выхода, зависимость концентрации от высоты над поверхностью Луны и т.д.). Далее рассматривается возможность возбуждения как линейных, так и нелинейных колебаний в приповерхностном слое лунной пылевой плазмы. Наконец, в конце главы обсуждается, как изменяются колебания в случае, когда Луна проходит через хвост магнитосферы Земли (возбуждение ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности).

Четвертая глава посвящена электрически заряженной пыли в нижней ионосфере Земли. Следует заметить, что источники пыли в атмосфере Земли связаны с различными физическими процессами, в частности, с извержением вулканов, вторжением метеорных потоков, с выбросами из ядер короткопериодных комет. Пылевые частицы также могут возникать в результате конденсации водяных паров. В четвертой главе рассматривается возможность возбуждения в запыленной плазме нижней ионосферы модуляционной неустойчивости при работе мощных высокочастотных нагревных стенов. Известно, что подобные стенов способны приводить к значительной модификации как верхней, так и нижней ионосферы (изменение концентрации электронов и ионов, нагрев электронной компоненты плазмы, развитие различных типов неустойчивостей). Как показано в диссертации при работе подобных стенов пылевые частицы приобретают электрический заряд и участвуют в возбуждении низкочастотных пылевых звуковых колебаний. Приведенные оценки показывают, что возмущения концентрации электронов и ионов при возбуждении модуляционной неустойчивости могут достигать относительно заметных величин.

В диссертации Морозовой получен ряд новых интересных научных результатов, из которых можно выделить два наиболее существенных. Во-первых, в главе 2 впервые показано, что при нахождении стационарного заряда пылинок при воздействии электронного пучка, помимо обычных токов в общем случае необходимо учитывать ток автоэлектронной эмиссии, который может существенно ограничить величину заряда пылинки. Во-вторых, в главе 4 теоретически предсказана возможность возбуждения пылевых звуковых волн в нижней ионосфере под действием мощного высокочастотного излучения от нагревных стенов. Несмотря на то, что воздействие нагревных стенов на ионосферу и магнитосферу земли изучается на протяжении более сорока лет, вопросы, связанные с поведением пылевой плазмы в поле мощного ВЧ излучения, до сих пор почти не исследовались. Таким образом, перечисленные выше результаты без сомнения свидетельствуют о новизне проведенного исследования.

Научная и практическая значимость диссертации заключается в том, что ее результаты могут быть использованы при планировании исследований в рамках новой Российской

программы изучения Луны, а также будут способствовать лучшему пониманию сложных процессов, связанных с наличием пыли, в нижней ионосфере Земли.

Достоверность полученных результатов подтверждается сопоставлением с рядом экспериментов, проведенным как в лабораторной плазме, так и в космическом пространстве.

К сожалению, диссертация не свободна от ряда недостатков. В четвертой главе диссертации при изучении пылевой модуляционной неустойчивости в системе уравнений гидродинамики (4.1)-(4.6) опущены важные члены, описывающие неупругие соударения электронов с тяжелыми частицами (ионами и нейтралами), а также соударения ионов с нейтральными частицами. Кроме того пренебрегается процессом рекомбинации в уравнении непрерывности для электронов, учет которого может изменить концентрацию заряженных частиц в низкочастотных колебаниях. Как следствие, неучтенные процессы могут повлиять на развитие модуляционной неустойчивости плазмы, рассмотренной в указанной главе. Поскольку неустойчивость изучается в широком диапазоне высот (от 80 до 120 км), где параметры среды сильно меняются, следовало бы привести в диссертации конкретные значения инкрементов неустойчивости для разных высот и проанализировать их зависимость от основных параметров плазмы.

В диссертации в ряде случаев (глава 3) отсутствует упоминание и сравнение с результатами работ других авторов (см., например, работы Porre, Horgan, 2010; Porre et al., 2011; Halekas et al., 2008 и ряд других), которые исследовали весьма близкие вопросы. Соответствующее обсуждение было бы полезно, во-первых, потому, что указанные авторы раньше проводили свои исследования, а во-вторых, потому, что их результаты в ряде случаев существенно отличаются по величине от результатов, представленных в диссертации. Так, в работе Porre, Horgan, 2010 рассматриваемая концентрация фотоэлектронов над освещенной стороной Луны более чем на два порядка в меньшую сторону отличается от концентрации фотоэлектронов, приведенной в главе 3 диссертации.

Следует также отметить некоторую небрежность в оформлении диссертации. Так, в главе 2 достаточно подробно обсуждается рис. 2.1, но самого рисунка в тексте диссертации нет. В работе имеется значительное количество опечаток, особенно в главе 4 (см., например, систему уравнений (4.1)-(4.6) и ряд других уравнений).

Однако указанные выше недостатки не снижают научной ценности представленной работы. Диссертация Морозовой является законченным научным исследованием, вносящим заметный вклад в изучение физики пылевой плазмы и может быть использована в различных научных учреждениях, занимающихся подобными проблемами. Результаты диссертации опубликованы в 8 научных статьях в журналах, рекомендованных ВАК. Кроме того они были представлены в виде докладов на 46 научных конференциях, как внутри страны, так и за рубежом. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Подводя итог, можно сказать, что диссертация Морозовой Т.И. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 «Теоретическая физика», а ее автор безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,
Главный научный сотрудник ИЗМИРАН,
доктор физ.-мат. наук
borisov@izmiran.ru



Н.Д. Борисов

Подпись Н.Д. Борисова заверяю,
Ученый секретарь ИЗМИРАН,
кандидат физ.-мат. наук



Handwritten signature and date: 06.2018

А.И. Рез

Адрес: 108840, Москва, г. Троицк,
Калужское шоссе 4,
ФГБУН Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН),
тел: 8-495-851-09-20