

**ОТЗЫВ
официального оппонента**

**на диссертацию Александра Владимировича Семенова
«Исследование модификации поверхности частиц меламин-
формальдегида (MF-R) в комплексной плазме»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.04 -
физическая электроника**

В настоящее время существенное место в физических исследованиях занимает многокомпонентная плазма, содержащая электроны, ионы, заряженные микроскопические частицы (пыль), а также нейтралы. Для такой плазмы часто применяются названия «комплексная плазма» или «пылевая плазма». Диссертационная работа А.В. Семенова направлена на экспериментальное исследование условий существования микрочастиц конденсированной дисперсной фазы в пылевой плазме и их поверхностной модификации при взаимодействии с компонентами плазменной среды. Об актуальности работы свидетельствует тот факт, что в качестве объекта исследования автором выбираются микрочастицы полимера меламин-формальдегида с одинаковыми аттестованными размерами, которые, как показали результаты экспериментов, обладают также свойствами эталонных объектов, как в плане размера, так и в плане поверхностного рельефа. Таким образом, данные о поверхностных свойствах частиц других материалов, размещаемых в составе самоорганизованных упорядоченных плазменно-пылевых структур в пылевой плазме, можно сравнивать с полученными в данной работе результатами. Кроме того, частицы данного материала широко применяются в экспериментах по исследованию пылевой плазмы, включая эксперименты в условиях микрогравитации. Актуальность данной работы также подтверждается разработанной методикой исследования поверхностной структуры сферических частиц меламин-формальдегида с помощью атомно-силового микроскопа,

которая до этого не применялась для исследования поверхностного рельефа подобных частиц. Данные исследования могут служить основой для развития технологии всесторонней модификации микро- и наноразмерных частиц органических материалов и биополимеров в пылевой плазме с целью их дальнейшего применения в области медицины и фармакологии.

Диссертационная работа изложена на 124 страницах печатного текста и включает список основных сокращений и обозначений, введение, пять глав, заключение, список цитированной литературы. Список литературы содержит 153 библиографические ссылки.

В диссертационной работе получены и проанализированы численные и экспериментальные данные о модифицированных поверхностях частиц меламин-формальдегида, составляющих упорядоченные плазменно-пылевые структуры в пылевой плазме тлеющего разряда постоянного тока при низких давлениях газа и малых плотностях постоянного тока в зависимости от вида плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме. Проведена оценка изменения площадей поверхности частиц меламин-формальдегида, проэкспонированных в плазме, при помощи методов фрактального анализа. А.В. Семеновым предлагается новый подход к возможной методике получения всесторонне-модифицированной поверхностной структуры вещества, размеры которого очень малы. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции упорядоченных плазменно-пылевых структур в плазме. Получены экспериментальные данные массспектрометрических исследований состава газовой среды пылевой плазмы с упорядоченными плазменно-пылевыми структурами, состоящими из частиц меламин-формальдегида. Исследованы возможные химические соединения, которые могут быть выбиты из тела микрочастицы под действием ее активных компонентов и т.д.

В Введении автором обосновывается выбор темы диссертационной работы и её актуальность, формулируется цель работы и задачи исследований, отмечена научная и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту, приведен список публикаций автора по теме диссертации и т.д.

В первой главе диссертации рассматривается физическое явление упорядоченных плазменно-пылевых структур, условия их существования в плазме, влияние внутренних и внешних условий на вид плазменно-пылевой структуры. Рассмотрены механизмы модификации поверхности различных полимерных материалов в низкотемпературной плазме.

Во второй главе описаны лабораторные программно-аппаратные комплексы для исследования упорядоченных плазменно-пылевых структур, которые использовались в исследованиях. Изложена методика проведения экспериментальных исследований по изучению модификации поверхности частиц меламин-формальдегида, входивших в состав

упорядоченных плазменно-пылевых структур в низкотемпературной плазме при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований поверхностной структуры частиц, составляющих упорядоченные плазменно-пылевые структуры, до и после погружения в плазму, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии. Приведены численные значения параметров шероховатости исследованных участков поверхности частиц меламин-формальдегида до погружения в плазму и после извлечения из нее. Применен математический метод триангуляции для расчета фрактальной размерности участков поверхности частиц, просканированных с помощью атомно-силового микроскопа. Рассчитана реальная площадь поверхности у частиц до погружения в плазму и после экспозиции в ней при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме. Проведена математическая оценка потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность микрочастиц меламин-формальдегида, приводящих к ее модификации в условиях пылевой плазмы. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции упорядоченных плазменно-пылевых структур в плазме аргона, неона и смеси газов, состоящей из аргона и кислорода.

В четвертой главе диссертационной работы приведены результаты массспектрометрических исследований состава газовой среды пылевой плазмы. Описан экспериментальный лабораторный комплекс и методика проведения исследований по определению состава газовой среды пылевой плазмы с частицами меламин-формальдегида.

В пятой главе приведены результаты экспериментального исследования состава микрочастиц меламин-формальдегида, проэкспонированных в пылевой плазме, методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Описана методика фильтрации полученных спектров от фона подложки. Выявлены основные спектральные линии, характерные для материала меламин-формальдегида.

Основные результаты и выводы сформулированы автором в заключении диссертации. Полученные результаты являются достоверными и новыми, а выводы – обоснованными.

Новизна и достоверность приведенных автором диссертации результатов не вызывают сомнений. Основной материал диссертации полностью отражен в научных работах автора, опубликованных в печати.

Диссертация несвободна от недостатков. Имеются, в частности, два замечания:

- 1) А.В. Семеновым показано существенное отличие (в сторону увеличения) реальной площади поверхности микрочастиц от их видимой (топологической) площади, связанное с наличием развитого рельефа поверхности. При этом следует ожидать существенного изменения значения заряда пылевой частицы по сравнению со

значением, вычисленным на основе видимой площади частицы. Вместе с тем, на всем протяжении диссертации А.В. Семенов фактически обходит вопрос о зарядке пылевых частиц, являющийся в пылевой плазме одним из ключевых. Наличие заряженной пыли существенным образом сказывается на процессах самоорганизации в плазме (Цытович В.Н. УФН. 1997. Т. 167. С. 57), за счет которых, например, образуются неоднократно упоминаемые в диссертации упорядоченные плазменно-пылевые структуры. Учет процессов зарядки пылевых частиц важен при определении концентраций электронов и ионов в окрестностях пылевых частиц, что может существенным образом повлиять на результаты расчетов потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность частицы, приводящих к ее модификации (раздел 3.3 диссертации). Конечно же адекватный учет процессов зарядки пылевых частиц потребует самосогласованного описания и существенным образом усложнит расчеты, проведенные в диссертации. Однако автору диссертации следовало бы хотя бы привести условия, при выполнении которых его расчеты являются адекватными. К сожалению, в диссертации даже такие условия отсутствуют.

- 2) Расчеты потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность частицы в разделе 3.3 учитывают вклады потоков электронов и ионов на пылевую частицу, эффектов, возникающих при рекомбинации на поверхности пылевой частицы, химических процессов, процессов теплопроводности и т.д. Однако не учитываются такие важные физические явления, как конденсация и испарение, а также ионизационные эффекты. Вместе с тем, часто указанные явления и эффекты существенным образом влияют на свойства плазменно-пылевой системы (см., например, Клумов Б.А. и др. ЖЭТФ. 2005. Т. 127. С. 171; Дубинский А.Ю., Попель С.И. Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 96. С. 22).

Сделанные замечания не отражаются на основном выводе о том, что в диссертации проведена большая работа, результаты которой имеют важное значение, как для физической электроники, в целом, так и для понимания процессов в пылевой плазме. В целом, диссертационная работа А.В. Семенова представляет собой важное экспериментальное исследование условий существования микрочастиц конденсированной дисперсной фазы в пылевой плазме и их поверхностной модификации при взаимодействии с компонентами плазменной среды. Основные результаты работы опубликованы в семи журнальных статьях из перечня ВАК РФ и докладывались на ряде международных и всероссийских конференций. Оценка диссертации, безусловно, положительная. Работа свидетельствует о высокой квалификации А.В. Семенова, его умении решать задачи, имеющие существенное значение для физической электроники.

Работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г., а Семенов Александр Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН)
117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32

Заведующий лабораторией плазменно-пылевых
процессов в космических объектах ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук, профессор
тел.+7 (916) 625 62 64
e-mail: popel@iki.rssi.ru

20.09.2016

С.И. Попель

Подпись С.И. Попеля заверяю

Ученый секретарь ИКИ РАН
доктор физико-математических наук



А.В.Захаров