

Процессы зарядки аэрозольных частиц в комплексной плазме

А.М. Игнатов, С.А. Майоров
Теоретический отдел ИОФ РАН

В настоящее время большое внимание уделяется теоретическому и экспериментальному исследованию комплексной (пылевой) плазмы, состоящей, помимо электронов, ионов и нейтральных атомов, из некоторого количества макроскопических частиц. Одной из основных проблем в этой области является механизм зарядки и, в частности, величина заряда пылевых частиц. Существующие теоретические представления основаны либо на анализе решений уравнения Власова в бесстолкновительном приближении, либо на исследовании процесса зарядки как диффузии электронов и ионов в нейтральном газе. Однако известно, что существенную роль в процессе зарядки пылевой частицы играют столкновения заряженных частиц с нейтральными атомами. Например, сколь угодно редкие столкновения приводят к формированию облака ионов, захваченных в окрестности пылинки. Важны также другие процессы, приводящие к нарушению зарядовой нейтральности, в частности, эмиссия электронов с поверхности частицы. Подобные процессы исследуются преимущественно численными методами, однако до последнего времени применяемые алгоритмы воспроизводили ион-атомные столкновения лишь на качественном уровне.

Целями настоящего цикла работ являлись:

1. Разработка численных алгоритмов, позволяющих описывать особенности реальных ион-атомных соударений (в частности, поляризационных взаимодействий, процессов резонансной перезарядки, неупругих столкновений) и моделирование на их основе прохождения тока через смеси газов и процессов зарядки пылевых частиц.

2. Аналитическое и численное исследование зарядки пылевых частиц вследствие фотоэлектронной эмиссии с поверхности аэрозольных частиц, что играет существенную роль в формировании серебристых облаков в мезосфере Земли.

Основные результаты:

1. Изучено влияние столкновений ионов с атомами газа на характеристики ионного потока и силы взаимодействия частиц с потоком и между собой. Проанализирована функция распределения ионов по скоростям в газовом разряде при учете резонансной перезарядки ионов на атомах буферного газа и поляризационных столкновениях. Рассмотрены силы взаимодействия пылинки с потоком и между собой, обусловленные перезарядкой ионов вблизи нее.

2. Результаты численного моделирования позволили проанализировать кинетические процессы, приводящие к экранированию пылевой частицы в газоразрядной плазме, проверить теоретические модели. Получено, что наличие даже слабой столкновительной релаксации приводит к радикальному отклонению от широко используемой модели ограниченных

орбит. Распределения потенциала электрического поля и плотность ионов очень близки к результатам модели Дебая. Распределение электронов хорошо описывается моделью Больцмана с дебаевским потенциалом, но потоки частиц на пылинку радикально зависят от давления газа.

3. В сильном поле, при значительном разогреве ионов и большом отличии атомных весов ионов и атомов, возможна очень сильная анизотропия функции распределения ионов. Поскольку анизотропия функции распределения ионов в свою очередь может вызывать значительное изменение свойств пылевых структур в плазме, то в работах была предложена идея экспериментов (впоследствии реализованных) по разряду в смеси легкого и тяжелого газов – гелия и ксенона или в более дешевых вариантах – гелия и аргона или криптона.

4. Разработана аналитическая теория и проведено численное моделирование фотоэлектрической зарядки пылевых частиц в условиях, характерных для мезосферы Земли и лабораторных экспериментов с фотовозбуждаемой криогенной пылевой плазмой. Показано, что эмиссия электронов с поверхности частицы приводит к формированию электронного облака с размерами порядка дебаевского радиуса. Полученные результаты позволяют объяснить наблюдаемую аномально высокую плотность свободных электронов в верхней части атмосферы.

Список основных публикаций:

1. С.А. Майоров “О дрейфе ионов в газе во внешнем электрическом поле” Физика плазмы, Т. **35**, №9, с. 869-880 (2009).

2. А.М. Игнатов, С.А. Майоров, О заряде частиц в ионосфере Земли, КСФ, т.36 № 4, стр. 41 (2009)

3. А.М. Игнатов, Фотоэлектрическая зарядка пылевых частиц, Физика плазмы, т. 35, №8, стр. 794 (2009)

4. С.Н. Антипов, М.М. Васильев, С.А. Майоров и др., Плазменно-пылевые структуры в He-Kr тлеющем разряде постоянного тока. ЖЭТФ, т. 139 №3, стр. 554 (2011)