

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ СМЕСИ ГЕЛИЯ И АРГОНА

М.К. Досболаев, Т.Т. Данияров, С.К. Коданова, Е.Б. Жанкарашев  
*НИИЭТФ, КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы*

В данной статье приведены результаты экспериментального исследования плазменно-пылевых образований в газовом разряде постоянного тока в смеси газов гелия и аргона. Структурные свойства пылевых формирований в смеси газов проанализированы на основе парных корреляционных функций и сравнены со случаями чистого гелия и аргона. Обнаружено существенное уменьшение пространственной корреляции в пылевых структурах в смеси гелия и аргона в сравнении с пылевыми структурами в чистых газах. Также исследована зависимость межчастичного расстояния в пылевых структурах от давления буферной плазмы.

### Введение

Исследованию физических свойств пылевой плазмы, т.е. макроскопических частиц (пыли) в плазменной среде, посвящено большое число экспериментальных и теоретических работ [1,2]. Пылевая плазма позволяет получать важную информацию о физических процессах на самом фундаментальном – кинетическом уровне. Интерес к свойствам пылевой плазмы также обусловлен той важной ролью, которая она играет в современной микроэлектронике, в синтезе новых композиционных материалов и создании термоядерного реактора.

Одной из актуальных задач физики пылевой плазмы является вопрос о влиянии состава фоновой плазмы на характеристики плазменно-пылевых структур (ППС). Одним из возможных подходов в изучении данного вопроса является исследование поведения ППС в смеси легкого и тяжелого газов [3]. В такой плазме функция распределения по скорости ионов тяжелого газа при их дрейфе в легком газе может отличаться от распределения при дрейфе в однокомпонентном газе. При дрейфе тяжелых ионов в легком газе при отсутствии столкновений с резонансной перезарядкой значительно подавляется разогрев ионов. Теоретический анализ функций распределения для случая смеси легкого и тяжелого газов показывает, что при достаточно высокой напряженности электрического поля происходит формирование сверхзвукового ионного потока. Такой ионный поток, взаимодействуя с заряженными пылевыми ППС, приводит к увеличению ее кинетической температуры. Этот результат позволяет прогнозировать достаточно сильное влияние состава газа на характеристики ППС в разрядах, которое и является предметом исследования настоящей работы.

В связи с этим, в настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования ППС в стратифицированном положительном столбе тлеющего разряда постоянного тока в смеси гелия (90%) и аргона (10%). Влияние добавления тяжелой компоненты к легкому газу анализируется на основе структурных свойств, полученных при обработке последовательных конфигураций ППС.

### Экспериментальная установка

Свойства ППС изучались на установке тлеющего разряда постоянного тока [4,5], принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Основная часть установки представляет собой газоразрядную трубку диаметром 5,5 см и длиной – 90 см. Газоразрядная трубка откачивается до давлений  $10^{-4}$  Торр с помощью вакуумного универсального поста, после чего в рабочий объем впускается рабочий газ необходимого состава. При этом исследуемый диапазон давлений газа составляет 0,1 – 2 Торр. С помощью высоковольтного источника питания в объеме трубки создаются стабилизированные страты тлеющего разряда.

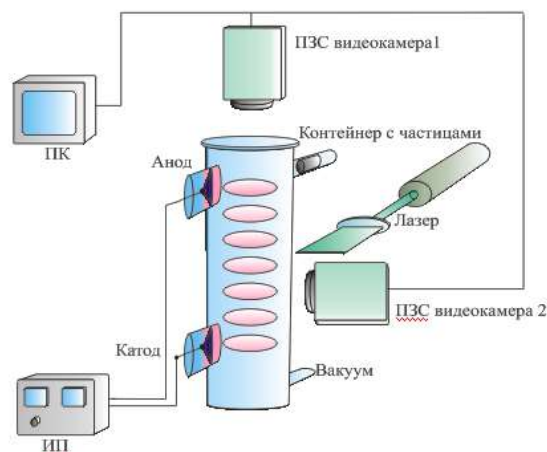


Рис.1. Схема экспериментальной установки на основе тлеющего разряда постоянного тока для исследования свойств ППС.

Далее в объем трубки вносятся полидисперсные пылинки  $Al_2O_3$  диаметром 3-5 мкм. Попадая в плазму, эти частицы приобретают электрический заряд и взаимодействуют с электрическим полем страт. В результате баланса действующих на частицы сил – электрических, гравитационных и межчастичного взаимодействия – в области страт формируются упорядоченные ППС.

Наблюдение за пылевыми структурами производится в горизонтальной плоскости с помощью высокоскоростной видеокамеры. Временная последовательность конфигураций пылевых частиц записывалась в память персонального компьютера для последующей обработки с помощью специальных пакетов программного обеспечения.

### Результаты эксперимента

Сравнение структурных свойств производилось для ППС, сформированных в газах чистого аргона и гелия, а также в смеси гелия (90%) и аргона (10%). На рис. 2 представлены изображения ППС, полученных в чистом аргоне (рис. 2 а) и гелии (рис. 2 в) а также в смеси аргона и гелия (рис.2 б) при одинаковых параметрах разряда ( $P = 0,1$  Торр,  $I = 1,17$  мА). Как следует из рис. 2, в чистых газах при указанных параметрах разряда наблюдается упорядоченное жидкокристаллическое состояние пылевой компоненты, в то время как в смеси газов она находится в газообразном состоянии.

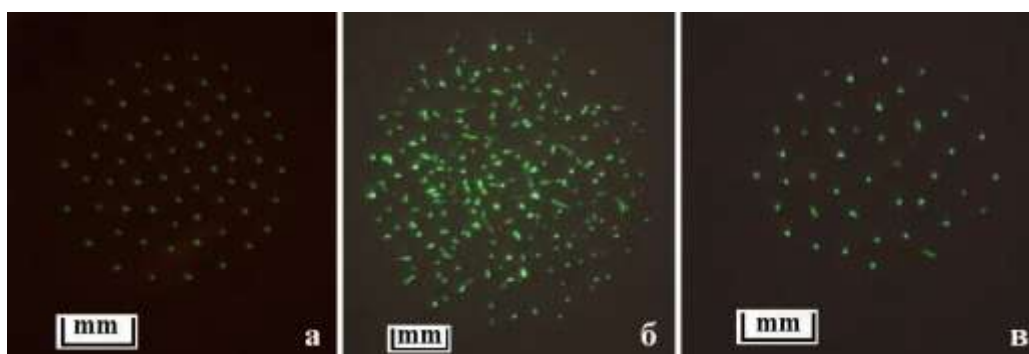


Рис. 2. Изображения плазменно-пылевых структур в горизонтальном разрезе в страте тлеющего разряда, вид сверху, (а) в чистом аргоне, (б) в смеси гелия (90%) и аргона (10%), (в) в чистом гелии

На рис. 3 представлены парные корреляционные функции  $g(r/a)$  пылевых частиц [6] при тех же параметрах, что и системы на рис. 2. Здесь,  $r$  – расстояние от тестовой частицы;  $a = (1/\pi n)^{1/2}$  – среднее межчастичное расстояние;  $n[\text{cm}^{-2}]$  – плотность пылевых частиц в горизонтальном слое.

Как видно из сравнения парных корреляционных функций пылевых частиц, приведенных на рис. 3, при данных параметрах разряда в чистых газах пылевые частицы представляют собой коррелированные системы, что подтверждается наличием ярко выраженных максимумов и минимумов на этих кривых. В то же время, в смеси газов состоянии ППС соответствует газовой фазе, т.к. ее вид подтверждает отсутствие ближнего порядка в системе.

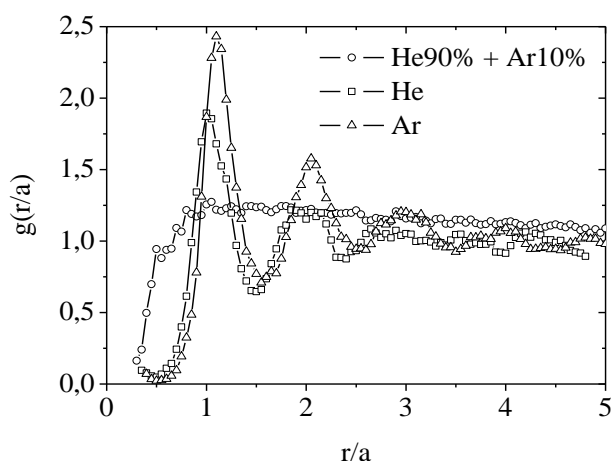


Рис. 3. Парные корреляционные функции пылевых частиц в аргоне (треугольники); гелии (квадраты); смеси гелия (90%) и аргона (10%) (кружки) при силе тока  $I = 1,17$  мА и давлении  $P = 0,1$  Торр. Линии, соединяющие экспериментальные данные, приведены для удобства

Следует отметить, что на свойства ППС также оказывают влияние рабочие параметры разряда. На рис. 4 представлена зависимость среднего расстояния между пылевыми частицами от давления газа. С увеличением давления буферного газа (смеси газов гелия и аргона) межчастичное расстояние увеличивается.

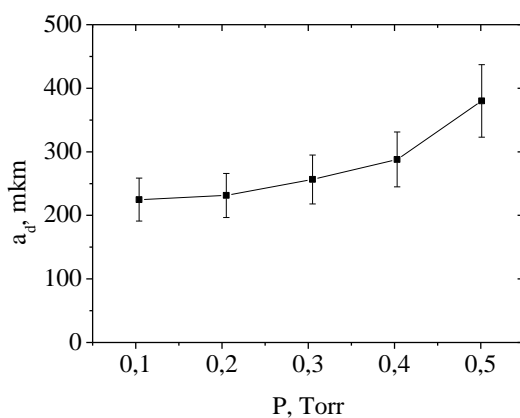


Рис. 4 Зависимость среднего межчастичного расстояния  $a$  от давления  $P$  в смеси гелия и аргона при силе тока  $I = 1,17$  мА

Приведенные результаты подтверждают влияние состава плазмы (буферного газа) на свойства ППС. Добавление примеси тяжелого газа к легкому газу приводит к существенному изменению структурных свойств ППС. В частности, можно отметить уменьшение пространственной корреляции пылевых частиц, которое приводит к переходу от жидкокристаллической фазы ППС к газовой фазе для смеси гелия (90%) и аргона (10%) при силе тока  $I = 1,17$  мА и давлении  $P = 0,1$  торр.

Одно из возможных объяснений данного эффекта состоит в появлении «быстрых» ионов тяжелой компоненты, которые, взаимодействуя с пылевыми частицами, разогревают их [3]. Более точное исследование механизмов разогрева ППС выходит за рамки данной работы и будет проведено в будущем. Также представляет интерес изучение влияния состава буферной плазмы на динамические свойства ППС (распределение скоростей, коэффициенты диффузии и вязкости).

### **Заключение**

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния состава буферной плазмы на свойства плазменно-пылевых структур, наблюдаемых в плазме тлеющего разряда постоянного тока в смеси гелия и аргона.

Проведенное сравнение с пылевыми структурами в чистом гелии и аргоне показывает, что в случае смеси легкого и тяжелого газов наблюдается разогрев пылевой компоненты. Это наблюдение также подтверждается анализом парных корреляционных функций в разряде в смеси из легкого и тяжелого газа. Также нами обнаружено влияние параметров разряда на свойства пылевых структур. С увеличением давления буферного газа изменяется плотность плазменно-пылевых структур, т.е. увеличивается расстояние между пылевыми частицами.

Представленные результаты подтверждают изменение физических характеристик пылевой системы в смеси гелия и аргона в сравнении с пылевыми системами в чистом гелии и аргоне. В дальнейшем представляет интерес уточнение механизмов, приводящих к данному эффекту, а также исследование изменения динамических свойств пылевых структур в зависимости от состава плазмы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МЭМР РК КТМ-2, а также государственной стипендии для молодых и талантливых ученых МОН РК.*

### **Литература**

1. Н.М. Thomas and G.E. Morfill, Nature (London) 379, 806 (1996)
2. В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, С.А. Храпак, В.И. Молотков, О.Ф. Петров // УФН, **174**, 495 (2004).
3. Майоров // Кр. сообщ. по физ. ФИАН, №7, 44 (2007).
4. Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Джумабеков А.Н., Исаев Г.К., Петров О.Ф., Антипов С.Н. // Экспериментальная установка для исследования свойств плазменно-пылевых структур Вестник КазНУ, Серия физическая, 2006, №1, (21), Стр. 41-49.
5. T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova, M.K. Dosbplayev, A.N. Jumabekov // Structural properties of dusty plasma in direct current and radio frequency gas discharges Phys. Plasmas, Vol.15, No.5, P.053704 (2008).
6. Баимбетов Ф.Б., Рамазанов Т.С. // Математическое моделирование в физике неидеальной плазмы, Алматы: Ғылым, (1994), стр. 212.

## **АРГОН ЖӘНЕ ГЕЛИЙ ГАЗДАРЫ ҚОСПАСЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМАЛЫҚ ҚҰРЛЫМДАРДЫ ЗЕРТТЕУ**

**М.Қ. Досболаев, Т.Т. Данияров, С.К. Қоданова, Е.Б. Жанқарашев**

Бұл жұмыста тұрақты тоқты газ разрядында пайда болатын аргон және гелий газдары қоспасындағы тозаңды плазмалық құрылымдардың түзіліуін зерттеу экспериментінің нәтижелері көрсетілген. Газдар қоспасындағы тозаңды құрамалардың құрылымдық қасиеттері қосақталған корреляциялық функциялар негізінде талданып, осы жағдайдағы таза гелий мен аргон газдарындағы нәтижелермен салыстырылды. Таза газдардағы тозаңды құрылымдардың газдар қоспасындағы тозаңды құрылымдармен салыстырғанда кеңістіктік корелляциялық функцияларының елеулі кемуі байқалды. Сонымен қатар плазмадағы тозаңның бөлшекаралық қашықтығының буферлі плазманың қысымына тәуелділігі зерттелді.

## **INVESTIGATION OF DUST STRUCTURES IN DC GLOW DISCHARGE OF HELIUM-ARGON MIXTURE**

**M.K. Dosboleev, T.T. Danyarov, S.K. Kodanova, E.B. Zhankarashev**

In the present paper results of experimental investigation of dust structures in dc glow discharge of helium-argon mixture are reported. Structural properties of dust structures are analyzed on the basis of pair correlation functions and are compared with cases of pure helium and argon. Significant rise of the temperature of dust component is observed for the case of helium-argon mixture. Inter-particle distance in dust structures as a function of buffer gas pressure is also presented.