

Лекция 4

Плазменно-пылевые структуры. Парные корреляционные функции

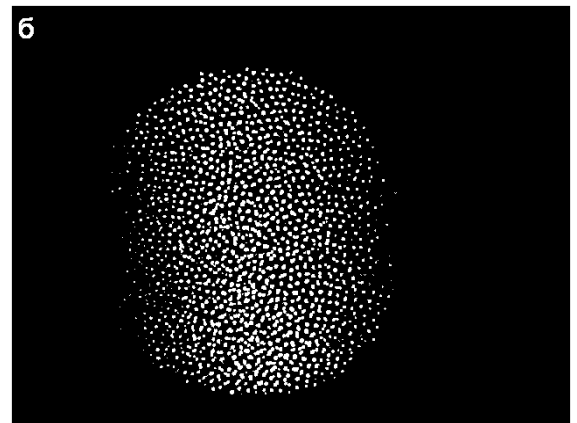
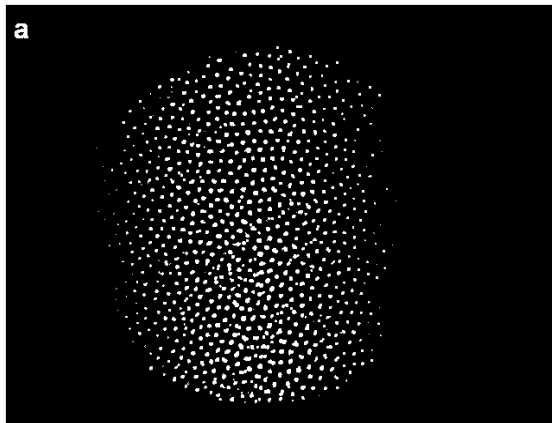
Цель. Дать представление о структурах плазменно-пылевых образований в газовом разряде и их характеристиках

Исследование структурных свойств пылевой плазмы является важной научной задачей, так как позволяет достичь углубленного понимания физических процессов в системе. Структурные свойства пылевой плазмы, созданной в емкостном высокочастотном разряде, исследуются на основе анализа последовательных конфигураций плазменно-пылевых структур, представляющих собой отдельные кадры видеозаписи пылевых структур. Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет получать информацию о системе без внесения возмущений, т.е. является бесконтактным.

Попадая в объем плазмы, как сказано ранее, пылевые частицы образуют слоистую структуру. В одном и том же слое размеры пылинок являются одинаковыми, т.е. в рамках слоя пылинки образуют однородную по своим физическим свойствам систему.

Характерные изображения плазменно-пылевых структур, наблюдаемых в ВЧ-разряде, представлены на рисунках 3.1, а и 3.1, б. Обе пылевые структуры были сформированы при давлении газа $p=0.1$ торр. Рисунок 3.1, а соответствует мощности разряда $W_p = 2.5$ Вт, а рисунок 3.1, б - мощность разряда $W_p = 13.7$ Вт. Было замечено, что значение мощности разряда влияет на структуру пылевого облака.

В обоих случаях в горизонтальном слое плазменно-пылевой структуры наблюдается формирование плотной конденсированной системы с высокой степенью пространственной корреляции. При этом можно качественно отметить, что при увеличении мощности ВЧ - разряда упорядоченность пылевых частиц уменьшается.



а) давление газа $p=0.1$ торр, мощность разряда $W_p=2.5$ Вт

б) давление газа $p=0.1$ торр, мощность разряда $W_p=13.7$ Вт

Рисунок 3.1 - Фотоизображения плазменно-пылевых структур, сформированных в плазме высокочастотного разряда

Для описания структурных особенностей пылевой плазмы были исследованы парные корреляционные функции пылевых частиц при различных значениях мощности разряда. Парные корреляционные функции были получены из анализа траекторий частиц пыли. Как известно, парная корреляционная функция пылевых частиц определяет вероятность нахождения частицы в пределах определенного расстояния по отношению к пробной частице, она является очень хорошим инструментом для оценки структурных свойств пылевой плазмы. В случае изотропной системы парная функция зависит лишь от расстояния между частицами и называется радиальной функцией распределения $g(r)$ (РДФ). Поведение функции распределения зависит от взаимодействия частиц. Там, где взаимодействие стремится к нулю (на больших расстояниях) имеем некоррелированное распределение. Вероятность нахождения частиц на заданном расстоянии принято рассматривать относительно некоррелированного распределения, следовательно, радиальные функции с ростом межчастичного расстояния должны стремиться к единице, т.е. при $r \rightarrow \infty$, $g(r) \rightarrow 1$.

В диссертации выполнены работы по определению экспериментальных парных корреляционных функций распределения пылевых частиц. Для этого с помощью специальной программы на каждом кадре находились координаты частиц в горизонтальном слое (пункт 2.1.2). После чего выполнялся расчет радиальной функции распределения по следующему

алгоритму. Для каждой частицы пространство вокруг этой частицы делится на круговые слои толщиной dr и подсчитывается число частиц в каждом слое ΔN (рисунок 3.2). Полученные значения усредняются как по всем частицам данной конфигурации (каждая конфигурация соответствует отдельному кадру), так и по всем конфигурациям.

Радиальная функция распределения вычисляется по формуле

$$g(r) = \frac{1}{n_d} \cdot \frac{\Delta \bar{N}(r)}{\pi dr(2R - dr)} \quad (3.1)$$

где n_d - поверхностная концентрация пылинок на горизонтальном (вертикальном сечении), $\Delta \bar{N}$ - усредненное число частиц в круговом слое.

Критерии упорядоченности

В качестве характеристики меры упорядоченности структуры используется парная корреляционная функция $g(r)$, определяющая относительную вероятность обнаружения одной частицы на расстоянии r от другой.

На рис.4.1 приведены $g(r)$ при различных значениях параметра связи, при переходе к режиму сильной связи на парных корреляционных функциях появляются осцилляции, причем, чем сильнее связь, тем выше и многочисленней максимумы. Характерный вид парной корреляционной функции, соответствующей жидкокристаллическому состоянию, приведен на рис. 4.2.

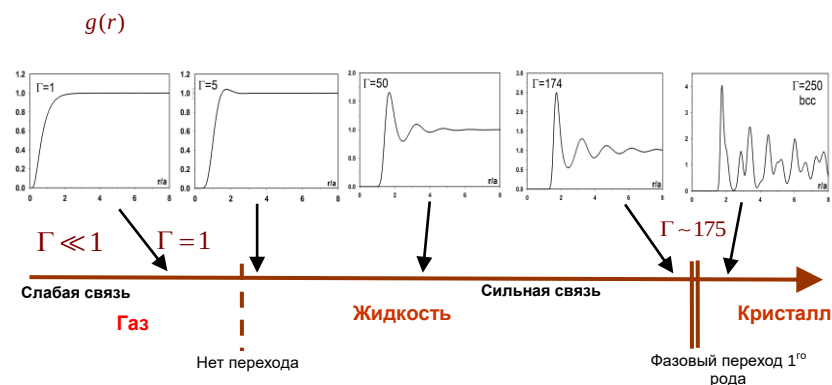


Рис.4.1 Диаграмма парных корреляционных функций для различных состояний пылевой плазмы

В физике пылевой плазмы существуют несколько критериев кристаллизации плазменно-пылевых структур.

1. Наличие периодических осцилляций на кривой парной корреляционной функции.
2. Отношение первого минимума к первому максимуму парной корреляционной функции должно быть $\leq 0,2$.
3. Высота первого максимума должна быть $\geq 2,7$

Получение радиальной функции распределения возможно на основе как экспериментальных методов, так и методов компьютерного моделирования, таких как Монте-Карло, метод ланжевеновской динамики, либо на основе решения интегральных уравнений, связывающих корреляционные функции с потенциалом межчастичного взаимодействия.

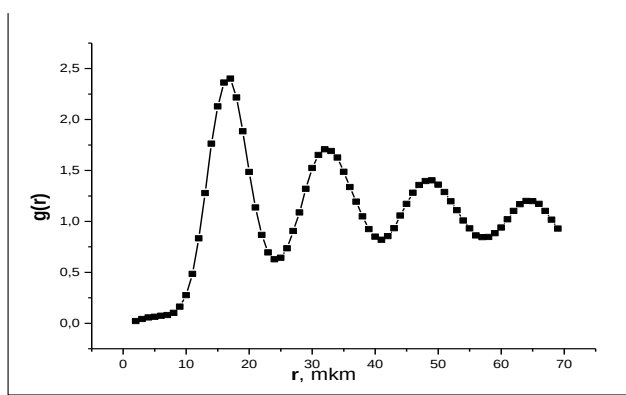


Рис. 4.2 Парная корреляционная функция распределения пылевых частиц в режиме сильной связи

Литература

1. Нефедов А.П., Петров О.Ф., Фортов В.Е. Кристаллические структуры в плазме с сильным взаимодействием макрочастиц. УФН. 1997. Том 167. № 11. С. 1215-1226.
2. Цытович В.Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака. УФН. 1997. Том 167. № 1. С. 57-99.
3. Thomas H., Morfill G. e.a. Phys. Rev. Letters. 1994. Vol.73. p. 652.
4. Chu J.H., Lin I. Physica. A. 1994. Vol. 205. P. 183.
5. Allen J. et al. Proc. Ann. Plasma Phys. Conf. (Scotland, Pearth, 1996).
6. Фортов В.Е. и др. Препринт НИЦ ТИВ РАН. М. 127412. 1996.
7. Fortov V.E., Nefedov A.P. Phys. Letters. A. 1996. Vol. 218. P. 89.