

Лекция 5

Динамические свойства микрочастиц

Цель лекции: Дать представление о динамических свойствах пылевых частиц и способах их исследования

Для исследования динамических свойств пылевой плазмы были выполнены эксперименты по получению и наблюдению временной эволюции пылевых образований. Кадры из видеозаписи плазменно-пылевых структур, наблюдаемых в ВЧ разряде, представлены на рисунке 3.7. Все пылевые структуры на рисунке 3.7 были сформированы при давлении газа $p=0.125$ торр.

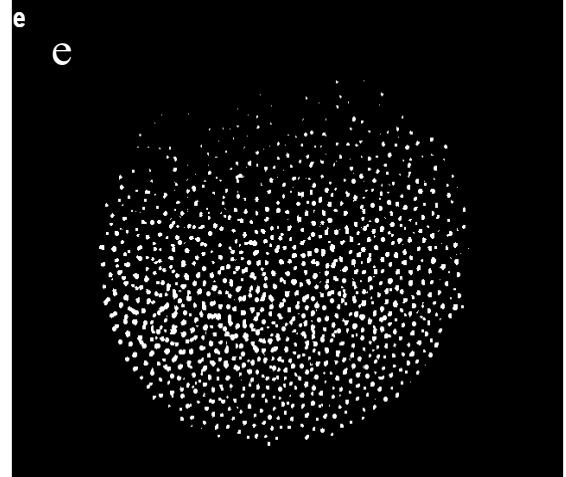
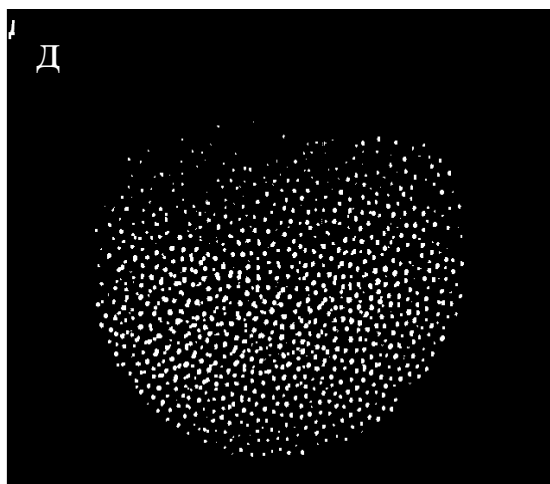
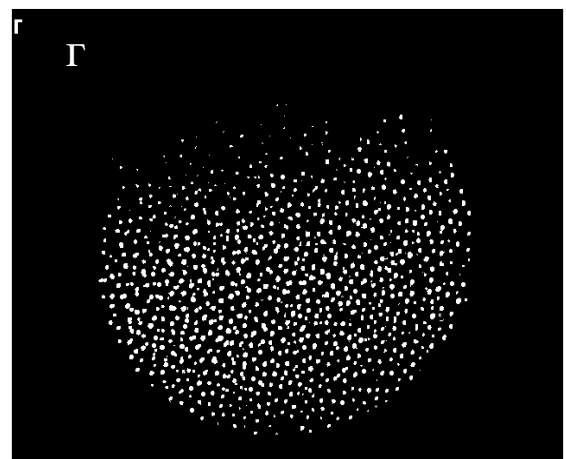
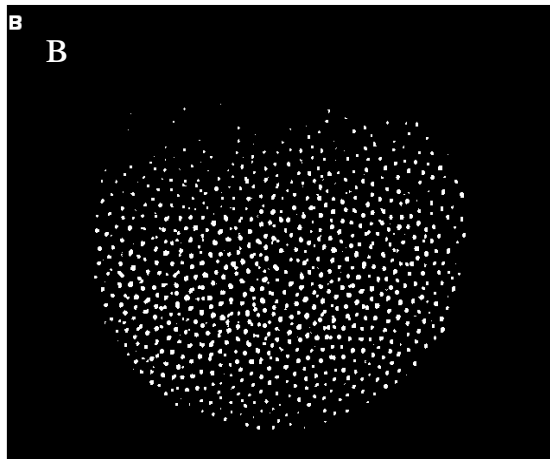
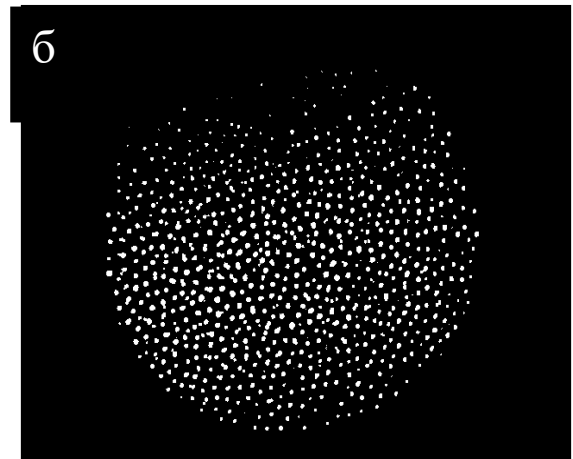
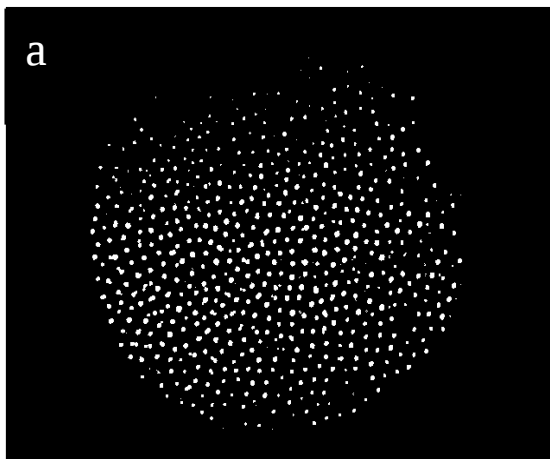
Как видно из рисунка 3.7, во всех случаях в горизонтальном слое плазменно-пылевой структуры наблюдается формирование плотной конденсированной системы.

Для характеристики динамических свойств пылевого формирования были рассчитаны распределения пылевых частиц по скоростям:

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}, \quad (3.2)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2},$$

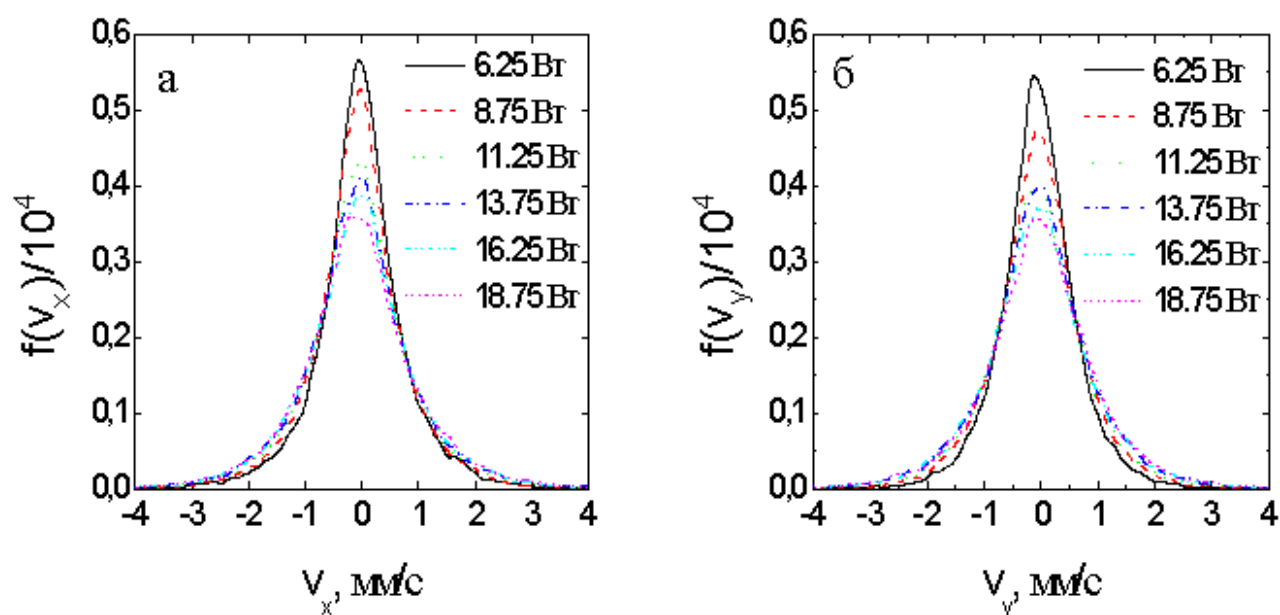
где v_x и v_y – компоненты скорости по оси x и y ; Δx и Δy – смещения по осям X и Y в плоскости наблюдения; Δt – промежуток времени между последовательными кадрами; v – абсолютная величина скорости.



- а) мощность разряда $W_p=6.25$ Вт; б) мощность разряда $W_p=8.5$ Вт;
 в) мощность разряда $W_p=11.25$ Вт; г) мощность разряда $W_p=13.75$ Вт;
 д) мощность разряда $W_p=16.25$ Вт; е) мощность разряда $W_p=18.75$ Вт

Рисунок 5.1 - Изображения плазменно-пылевых структур, сформированных в плазме ВЧ разряда при давлении рабочего газа $p=0.125$ торр

Распределения пылевых частиц по компонентам v_x и v_y , соответствующие экспериментам на рисунках 3.7а – 3.7е, представлены на рисунках 3.8а и 3.8б, а распределение по абсолютным скоростям – на рисунке 3.9.



а) распределение скорости пылевых частиц по компоненте v_x

б) распределение скорости пылевых частиц по компоненте v_y

Рисунок 5.2 - Распределения пылевых частиц по компонентам скорости в плазме высокочастотного разряда

Анализируя рисунки 5.1 и 5.2, можно отметить, что распределение скоростей пылевых частиц соответствует максвелловскому распределению [52-53]. На рисунке 5.2 видно, что с увеличением мощности разряда высота пиков кривых распределения становится меньше и сдвигается вправо, в то время как кривые распределения становятся шире. Это означает, что температура пылевых частиц становится больше и количество пылевых частиц с высокой кинетической энергией увеличивается. Увеличение кинетической энергии пыли является следствием их нагрева частицами

буферной плазмы, кинетическая энергия которых возрастает с увеличением мощности разряда. Температура пылевых частиц при различных значениях мощности разряда может быть оценена по максимумам функции распределения скоростей. Наиболее вероятная скорость $v_p = \sqrt{2k_B T_d / m_d}$ используется для расчета температуры пылевых частиц. Здесь k_B является постоянной Больцмана, m_d есть масса пылевых частиц и T_d - температура пыли. Анализируя рисунок 5.3, можно отметить, что при увеличении мощности разряда температура пылевых частиц возрастает линейно. Значение температуры пылинок в плазме варьируется от сотых вплоть до нескольких эВ (Таблица 1), что хорошо согласуется с данными других авторов [52].

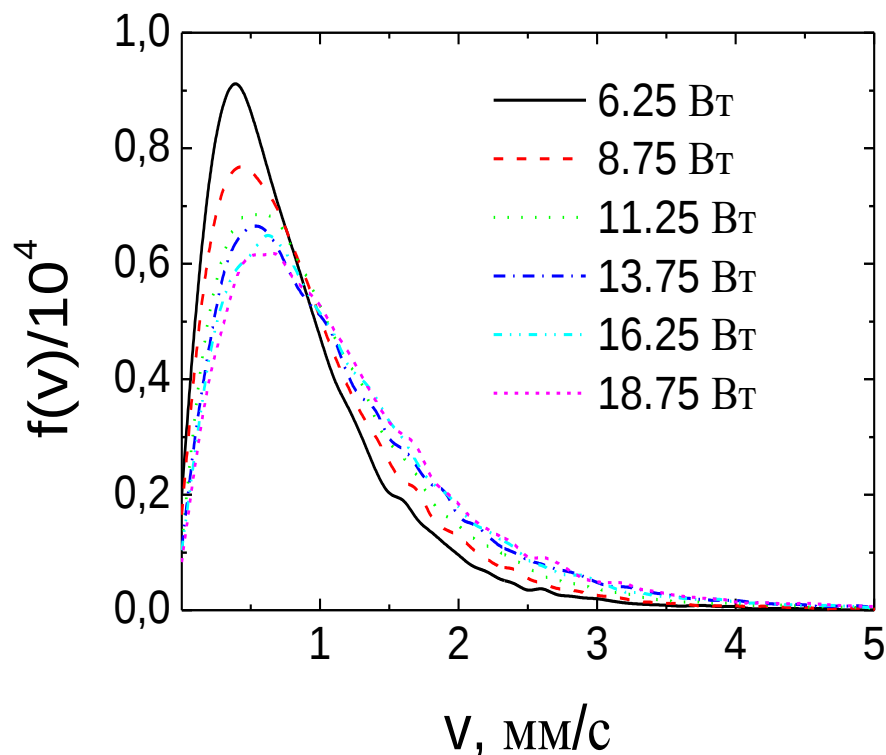


Рисунок 5.3 - Распределения пылевых частиц по абсолютным величинам скорости

Таким образом, наблюдение за эволюцией плазменно-пылевых формирований в ВЧ разряде позволяет изучить динамические свойства пылевой плазмы. Как показывают результаты, основанные на анализе функций распределения скоростей пылевых частиц, температура пылевой компоненты возрастает пропорционально мощности ВЧ разряда.

Диффузия частиц пыли является одной из важных динамических характеристик пылевой плазмы, она может дать количественную и качественную информацию о свойствах системы. Диффузия -это процесс,

вызванный тепловым движением частиц пыли, он определяет рассеяние энергии в плазменно-пылевых структурах [54]. Поэтому столь важно изучать процесс диффузии частиц пыли в буферной плазме и ее зависимость от параметров окружающей плазмы, особенно температуры ([54-56]). В связи с этим, был проведен ряд экспериментов с пылевой плазмой, в которых движения пылевых частиц в горизонтальных сечениях структуры пылевого облака были записаны на видеокамеру CCD и полученные траектории частицы были обработаны с помощью специальных компьютерных программ.

Литература

1. Неведов А.П., Петров О.Ф., Фортон 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. Фортон 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.