

3D-динамика активных частиц в плазменном ВЧ-разряде

Заморин Д.А. и Сыроватка Р.А.
zamorin.da@phystech.edu



Цель работы: исследовать динамику активных частиц в разряде низкого давления методом 3D-диагностики.

Модель установки

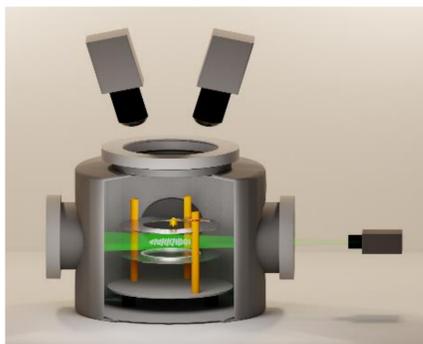
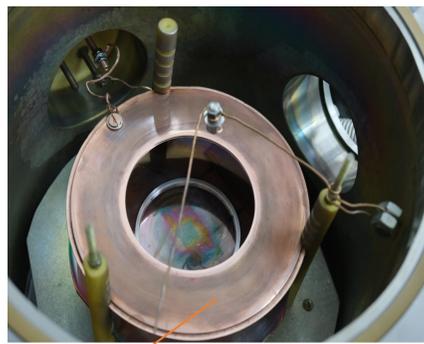
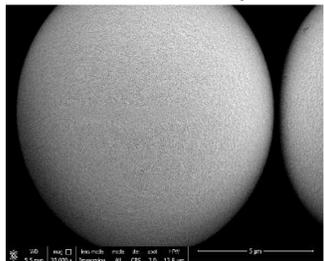


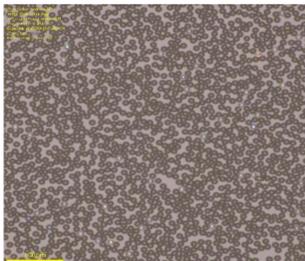
Фото установки



МФ-частица



Монослой частиц

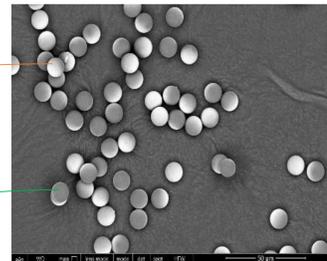


напыление в вакуумной камере

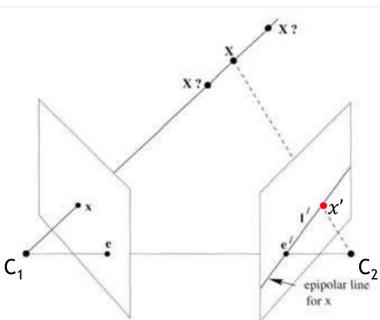
Светлая часть
напылена медью

Темная часть –
непокрытая

Синтез частиц



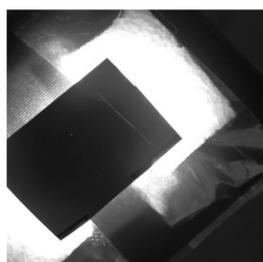
Эпиполярная геометрия двух камер и погрешность метода



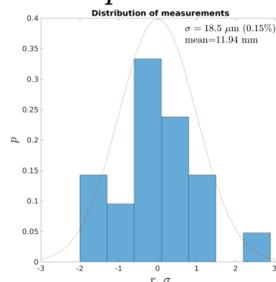
Используется модель проективной камеры, определяемая центром камеры, проективной плоскостью и принципиальной точкой.

- 1) Эпиполярная линия выражается через фундаментальную матрицу F и выбранную точку x ;
- 2) Из рисунка видно, что проекция X на плоскость изображения первой камеры x определяет не только саму точку X , но и целую прямую, на которой может находиться исходная точка;
- 3) Изображение, соответствующее точке X на второй камере, следует искать вблизи эпиполярной линии.

Имитатор частиц

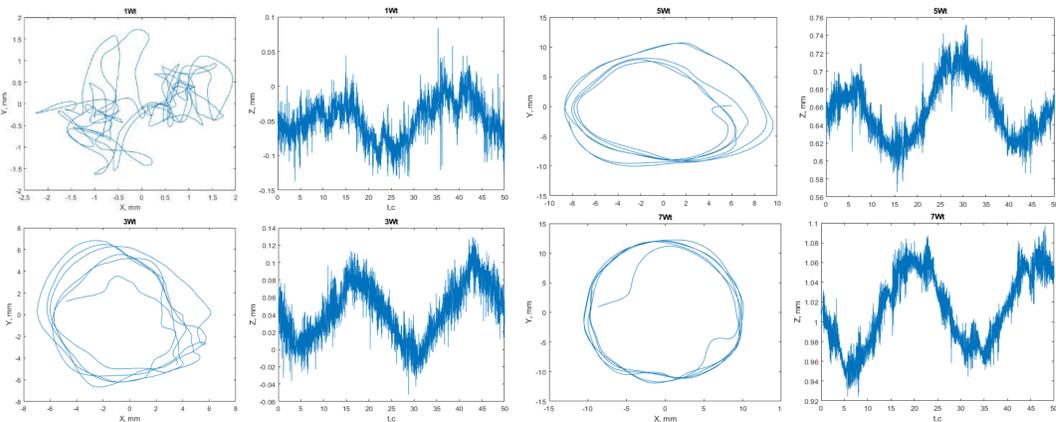


Измеряем расстояния между точками в разных положениях



Расстояние, измеренное штангенциркулем и лупой: $11,90 \pm 0,05 \text{ мм}$
 Расстояние, полученное с помощью 3D диагностики: $11,94 \pm 0,02 \text{ мм}$
 Погрешность, соответствующая 99.5% доверительному интервалу, составляет 0.48%

Эксперимент с одиночной частицей

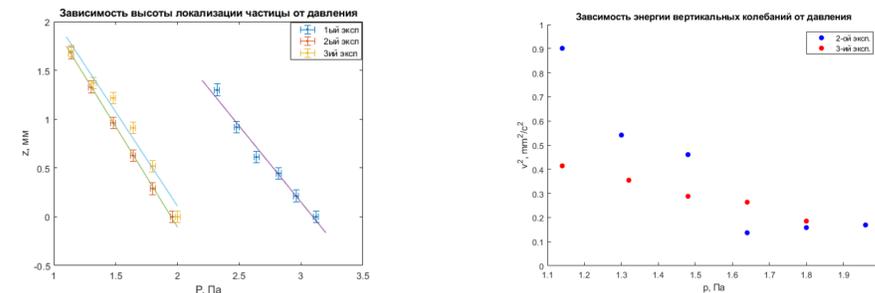


Синтезированная МФ-частица в аргонной плазме при параметрах:

- $p = 2.64 \text{ Па}$;
- $W = 4 \text{ Вт}$ – мощность разряда;
- $W_{\text{лазер}} = 1 \dots 10 \text{ Вт}$ – мощность лазера.

На графиках изображены двумерные траектории частицы и ее вертикальные колебания при разных мощностях лазера. С увеличением мощности лазера область локализации частицы увеличивается, движение становится менее хаотичным.

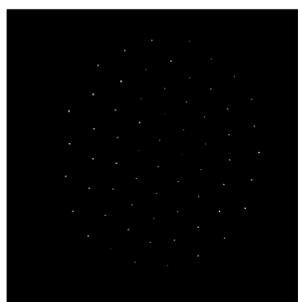
Группа экспериментов с частицей при вариации давления



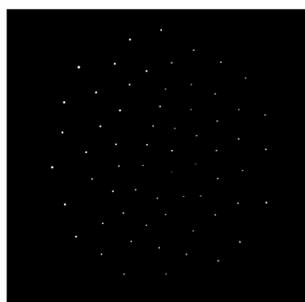
Первый эксперимент проводился с синтезированной активной частицей, **второй** и **третий** – с неактивной МФ-частицей.

Вывод: с уменьшением давления высота локализации частицы увеличивалась с коэффициентами -1.56 мм/Па , -2.06 мм/Па , -1.92 мм/Па соответственно. Амплитуды вертикальных колебаний при фиксированном давлении $\sim 0.05 \text{ мм}$ соответствуют колебаниям давления в камере $\sim 0.01\text{-}0.03 \text{ Па}$. Мгновенные вертикальные колебания возрастали с уменьшением давления.

Эксперимент с кластером частиц



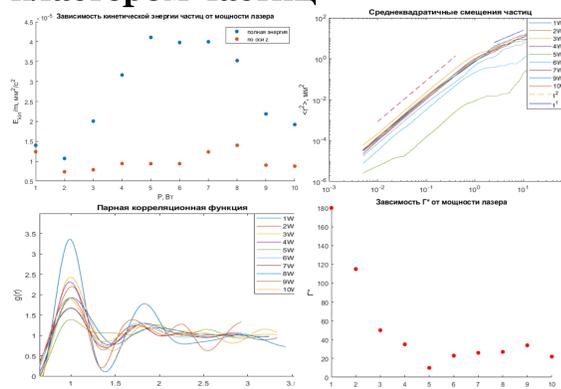
$W_{\text{лазер}} = 1 \text{ Вт}$



$W_{\text{лазер}} = 9 \text{ Вт}$

Синтезированные $N = 64$ МФ-частицы в аргонной плазме при параметрах:

- $p = 2.64 \text{ Па}$;
- $W = 4 \text{ Вт}$ – мощность разряда;
- $W_{\text{лазер}} = 1 \dots 10 \text{ Вт}$ – мощность лазера.



На основе полученных координат и траекторий были получены:

- $g(r) = \frac{N(r,r+dr)}{2\pi r dr \frac{N}{S}}$ – парная корреляционная ф-ия;
- $\Gamma^* = f\left(\frac{\theta_{\text{max}}}{\theta_{\text{min}}}\right)$ – эффективный параметр неидеальности;
- Кинетическая энергия;
- $\langle (r(t) - r(0))^2 \rangle$ – среднее квадратичное смещение частиц.

Для всех мощностей среднее квадратичное смещение $\langle (r(t) - r(0))^2 \rangle \propto t^2$ на малых временах (до 1с), на средних (1-5с) $\propto t^1$, что характерно для протяженных структур активных частиц.