

Лекция 7

Диффузия микрочастиц в пылевой плазме

Цель лекции: Описать методы измерения коэффициента диффузии пылевых частиц в плазме

Коэффициент диффузии пылевых частиц был получен с помощью траекторий пылевых частиц по формуле для временной зависимости отношения среднеквадратичного смещения частиц к времени наблюдения:

$$D_{msd}(t) = \langle \vec{r}(0) - \vec{r}(t) \rangle^2 / 4t, \quad (7.1)$$

Здесь квадратные скобки означают усреднение по ансамблю и по различным начальным моментам. Коэффициент диффузии пылевой компоненты представляет собой предельное значение $D_{msd} = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{msd}(t)$. Это значение увеличивается с увеличением мощности разряда. Коэффициент диффузии невзаимодействующих частиц определяется соотношением Эйнштейна

$$D_0 = \frac{k_B T_d}{\nu m_d}, \quad (7.2)$$

здесь ν - коэффициент трения, возникающего, когда пылинки движутся в плазме. Его можно оценить с помощью соотношения $\nu = C_n \cdot P[\text{Па}] / (a_d[\text{мкм}] \cdot \rho[\text{г} \cdot \text{см}^{-3}])$, где C_n - численный коэффициент ($C_n = 8.6$ для аргона), p является давлением буферного газа в экспериментах, $a_d = 4 \text{ мкм}$ является средним размером частиц пыли оксида алюминия (использованных в описанных экспериментах), $\rho = 4 \text{ г} / \text{см}^3$ - массовая плотность оксида алюминия, $m_d = 1071.7 \cdot 10^{-12} \text{ г}$ - масса пылевых частиц оксида алюминия. В таблице 1 представлены значения коэффициента диффузии, полученные в экспериментах и вычисленные значения D_0 для невзаимодействующих частиц.

Таблица 1 - Температура и коэффициент диффузии пылевых частиц при постоянном давлении и при различных значениях мощности разряда

Wp (W)	$k_B T_d$ (eV)	$D_0, \text{cm}^2 / \text{sec}$	$D_{msd}, \text{cm}^2 / \text{sec}$	D_{msd} / D_0
6.25	0.41	$0.68 \cdot 10^{-4}$	$0.48 \cdot 10^{-4}$	0.70
11.25	0.66	$1.10 \cdot 10^{-4}$	$0.66 \cdot 10^{-4}$	0.60
16.25	0.94	$1.56 \cdot 10^{-4}$	$0.77 \cdot 10^{-4}$	0.49

Таблица 1 показывает, что значения экспериментальных данных меньше, чем значения D_0 , полученных без учета взаимодействия между частицами пыли, что вполне понятно и объяснимо. Однако отношение D_{msd}/D_0 уменьшается с повышением температуры, в то время как можно было бы ожидать, что оно должно вырасти в связи с уменьшением роли взаимодействия. Но последнее заключение верно только в том случае, если взаимодействие будет независимым от температуры. Для правильного описания явлений в пылевой плазме необходимо учитывать все процессы, которые возникают в системе при изменении параметров пылевой плазмы. Увеличение температуры приводит к увеличению заряда пылевых частиц и взаимодействие становится сильнее. Расчеты показали, что на зависимости параметра связи $\Gamma = (Z_d(T_d)e)^2 / (ak_B T_d)$ от температуры T_d имеются некоторые максимумы. Таким образом, существует область температур, где ее рост приводит к увеличению параметра связи, что, в свою очередь, значительно снижает коэффициент диффузии по отношению к значению идеального газа. В работе [58] представлены значения коэффициента диффузии, теоретически рассчитанные на основе метода молекулярной динамики в широком диапазоне параметра связи. С помощью диаграммы из этой работы, представляющей зависимость приведенного коэффициента диффузии от параметра связи, можно оценить параметр связи, соответствующий некоторой величине отношения D_{msd} / D_0 . Для наших экспериментов было обнаружено, что $\Gamma \leq 30$.

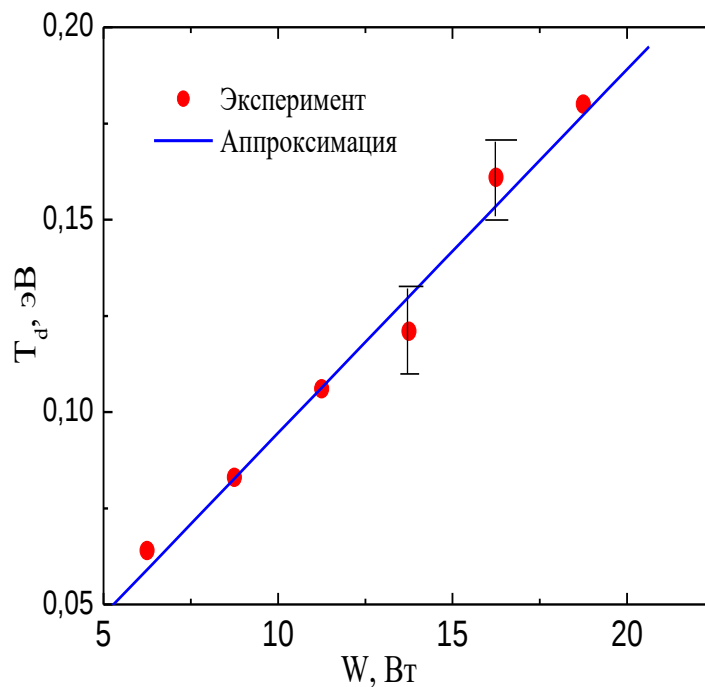


Рисунок 7.1 - Зависимость температуры пылевых частиц от мощности ВЧ разряда

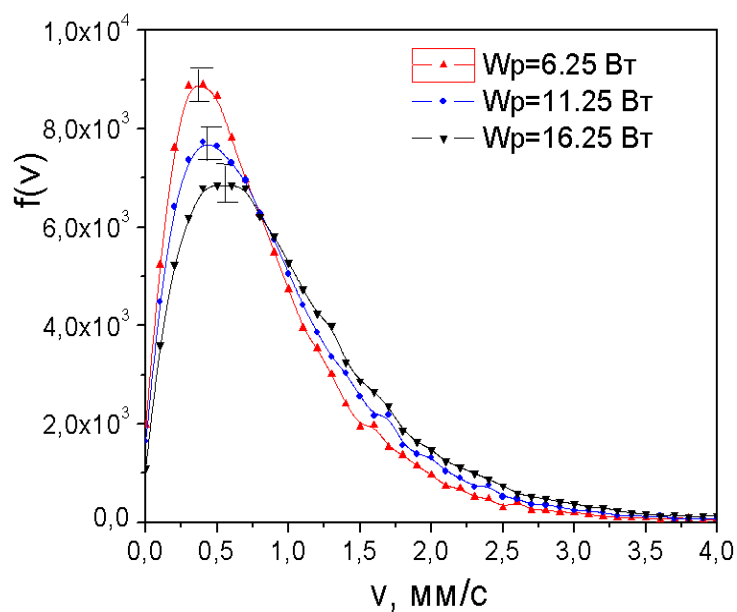


Рисунок 7.2- Функции распределения пылевых частиц по скоростям при постоянном давлении $P=0.125$ torr и различных значениях приложенной мощности

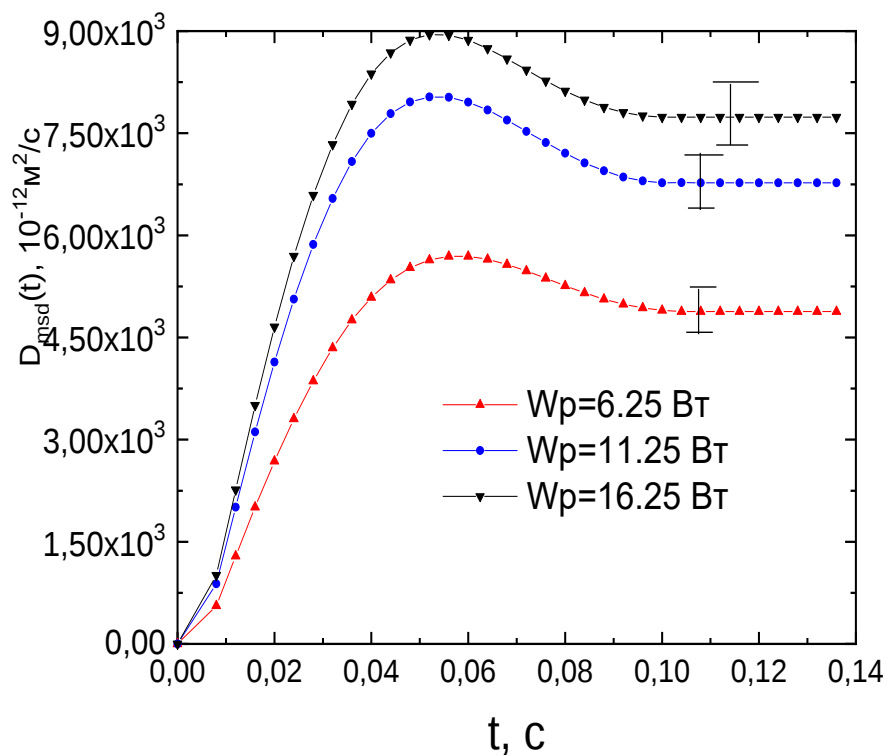


Рисунок 7.3 -Временная зависимость отношения среднеквадратичного смещения к времени наблюдения

Литература

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