

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 533.9

DOI: 10.17223/00213411/63/7/162

А.А. ПИКАЛЕВ, А.В. СЫСУН, О.В. ОЛЕЩУК

РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛАЗМЫ В ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ СТОЛБЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ПЫЛЕВЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Рассматривается влияние пылевых структур на положительный столб тлеющего разряда. Предложена формула, описывающая радиальное распределение ионов в случае протяжённой структуры в однородном положительном столбе. Для определения потоков ионов на частицу и потенциала её поверхности предложена аппроксимация результатов моделирования методом молекулярной динамики. Представлены примеры расчётов для конкретных условий экспериментов.

Ключевые слова: пылевая плазма, положительный столб тлеющего разряда, радиальное распределение концентрации плазмы.

Введение

Пылевая плазма – это плазма с левитирующими макрочастицами. Частицы в плазме приобретают заряд и могут образовывать упорядоченные структуры за счёт взаимодействия между собой. Нами исследовались пылевые структуры в положительном столбе тлеющего разряда. В этих условиях частицы приобретают отрицательный заряд, так как энергия электронов намного больше энергии ионов, а масса намного меньше и нагрев частиц и соответственно эмиссия электронов малы.

Параметры пылевой структуры (заряд и потенциал частиц и межчастичное расстояние) определяются размерами частиц, давлением и родом газа, а также параметрами плазмы. Однако параметры плазмы при исследовании пылевых структур измерялись лишь в некоторых работах. Типичными параметрами положительного столба тлеющего разряда с пылевыми структурами [1–4] являются:

- концентрация и температура электронов и ионов: $n_e = (3-10) \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$, $T_e = 3-6 \text{ эВ}$, $T_i = 300 \text{ К}$,
- давление $p = 30-100 \text{ Па}$ (Ne или Ar) при длине свободного пробега ионов $\lambda_i = 50-200 \text{ мкм}$,
- диаметр пылевых частиц $2a = 4 - 50 \text{ мкм}$,
- межчастичное расстояние $l = 250-500 \text{ мкм}$ при концентрации пыли $n_d = (0.8-20) \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$,
- радиус разрядных трубок $r_{\text{тр}} = 1-2 \text{ см}$.

Аналогичные параметры плазмы и пылевой структуры имеют и высокочастотные разряды [5–7].

Электронный дебаевский радиус в обоих типах разрядов составляет $\lambda_{De} = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e}} = 500 - 1000 \text{ мкм}$.

При этом получаем следующие соотношения: $a/\lambda_{De} = 0.002 - 0.02$; $\lambda_i/\lambda_{De} = 0.05 - 0.3$; $l/\lambda_{De} = 0.25 - 0.6$; $a/\lambda_i = 0.02 - 0.15$.

Обратимся к теоретическим работам. Это работы, рассматривающие ионный ток на пылевую частицу, определяющий её потенциал и заряд, работы по взаимодействию частиц и установлению межчастичного расстояния в установившейся структуре и работы, рассматривающие положительный столб разряда, содержащий пылевые частицы в целом.

Плотность ионного тока на пылевую частицу с плавающим потенциалом рассматривалась в ряде работ. В работах [8–12] ионный ток предполагался состоящим из двух частей: ток по теории ограниченного орбитального движения, рассчитываемый при условии движения ионов из бесконечности без учёта столкновений с атомами и объёмной ионизации, и ток, образуемый столкновениями ионов внутри определённого радиуса r_0 , попадающих на поверхность сферы радиуса r_0 за счёт хаотического теплового движения. Вероятность такого столкновения принималась равной r_0/λ_i .

$$j_i = en_e \sqrt{\frac{kT_i}{2\pi M}} \left(1 + \frac{e\varphi_a}{kT_i} + \frac{r_0^2}{a^2} \frac{r_0}{\lambda_i} \right). \tag{1}$$

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>