

О ПАРЦИАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ КОМПОНЕНТ ПЛАЗМЫ

А. М. РЕЗИКЯН

Если имеем однократно ионизованный газ, то после пренебрежения нелинейными членами и учета нейтральности плазмы из закона сохранения импульса получим известную связь

$$P_e + P_i + P_n = \text{const} = P_w, \quad (1)$$

где P_e , P_i , P_n — давления электронного, ионного и нейтрального газов. Таким образом, при отсутствии магнитного поля сумма парциальных давлений компонент плазмы постоянна и не зависит от места. Однако, как будет ниже показано, соотношение (1) имеет место лишь при ограниченной степени ионизации газа.

Ниже будет рассматриваться плазма цилиндрической конфигурации, так как она представляется важной для газоразрядных приборов.

Для случая (1) Штенбек получил радиальное распределение плотности заряженных частиц [1]. Однако для упрощения расчетов мы применим близкое к нему распределение Шотки [2]. При этом

$$n_i = n_e = n, \quad n = n_0 J_0(\alpha r), \quad (1a)$$

где n — концентрация заряженных частиц, а n_0 — их концентрация на оси цилиндра, $\alpha R = K_1 = 2,405$, R — радиус цилиндра и J_0 — функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Согласно (1a) концентрация заряженных частиц и соответственно их давления у стенки цилиндра равны нулю, тогда как на оси в крайнем случае, если там все ионизовано, давление будет $n_0 k (T_e + T_i)$. Ясно, что для выполнения соотношения (1) необходимо наличие такого количества нейтрального газа, чтобы у поверхности цилиндра нейтральный газ имел бы давление, равное давлению на оси цилиндра. Поэтому степень ионизации газа должна быть ограниченной.

Введем среднюю степень ионизации

$$x = \frac{1}{y} = \frac{N}{N_n + N}, \quad (2)$$

где N — число пар ионов, N_n — число нейтральных частиц в объеме цилиндра единичной длины, т. е.

$$N = 2\pi \int_0^R n r dr, \quad N_n = 2\pi \int_0^R n_n r dr, \quad P_n = n_n k T_n, \quad (3)$$

из (1)

$$n_n = \frac{P_w}{k T_n} - \frac{T_e + T_i}{T_n} n. \quad (4)$$

Из (1), (2), (3), (4) получим

$$\bar{y} = 1 + \frac{P_w}{n_0 k T_n} \frac{K_1}{2y_1(K_1)} - \frac{T_e + T_i}{T_n}. \quad (5)$$

В крайнем случае, если на оси имеет место полная ионизация и выполняется соотношение (1), получим отсюда

$$k(T_e + T_i) n_0 \leq P_w, \quad (6)$$

где P_w — давление на стенки цилиндра. Из (5) и (6) получим максимально допустимую степень ионизации

$$y_{\max} = \frac{1}{x_{\max}} \geq 1 + \frac{T_e + T_i}{T} \left(\frac{K_1}{2J_1(K_1)} - 1 \right). \quad (7)$$

Учитывая, что выражение в скобке близко к 1,4, а также имея ввиду, что $T_e \gg T_i$, T_n , из (7) получим

$$\bar{x}_{\max} \leq 0,71 \cdot \frac{T_n}{T_e} = 0,71 \frac{x}{x_n}, \quad (8)$$

$$x = \frac{eV_i}{kT_e}, \quad x_n = \frac{eV_j}{kT_n}.$$

Значит соотношение (1) имеет силу, если средняя степень ионизации удовлетворяет неравенству (8). Здесь V_j потенциал ионизации газа. В (8) x определяется из [2 3],

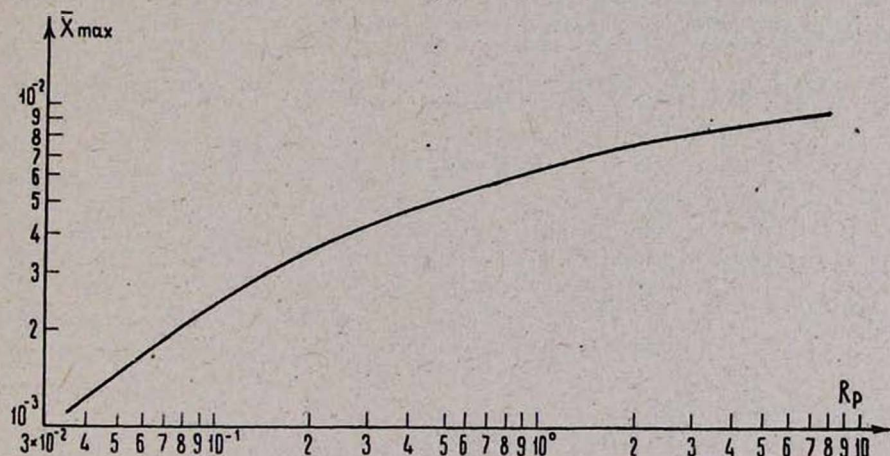


Рис. 1.

$$\frac{\sqrt{x} e^x}{1 + \frac{2}{x}} = \frac{C (R_p)^2 x_i^{\frac{1}{2}}}{\Lambda_i \left(1 + \frac{x_i}{x}\right)} \left[1 + \frac{\Lambda_i}{\Lambda_e} \left(\frac{m_e x_i}{m_i x} \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

$$\left(\frac{x_i}{x} \right)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{\Lambda_e(x)}{\Lambda_i(x_i)} \right]^2 \frac{x_i}{x_i(x)} \left(1 - \frac{x_i}{x} \right), \quad (9)$$

$$C = 2 \left(\frac{6}{\pi} \right)^2 \alpha \frac{273}{T_n} V_i \left(\frac{m_i}{m_e} \right)^{\frac{1}{2}} K_i^{-2}, \quad x_i = \frac{e V_j}{k T_i},$$

где P — начальное давление газа, m_e , m_i — массы электрона и иона, $\Lambda_e(x)$, $\Lambda_i(x_i)$ — средние свободные длины электронов и ионов, зависящие от их температуры. Эти величины и α даны в [2]. Там же есть зависимость $\alpha_e(x)$.

Из выражений (8) и (9) рассчитаны $\bar{x}_{\max}$ в зависимости от (R_p) . Как видно из кривой на рисунке, чем меньше (R_p) , тем ниже допустимая степень ионизации, при которой еще выполняется соотношение (1).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. Steenbek, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken, 18, 29 (1939).
2. А. Энгель и М. Штенбек, Физика и техника электрического разряда в газах, М. Л. (1935).
3. Физика плазмы и магнитная гидродинамика, под ред. М. С. Рабиновича, ИЛ, М. (1961).

ՊԼԱԶՄԱՅԻ ԿՈՄՊՈՆԵՆՏՆԵՐԻ ՊԱՐՑԻԱԼ ՃՆՇՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա. Մ. ՌԵԶԻԿԻԱՆ

Ցույց է տրված պլազմայի պարզիալ ճնշումների գումարի տեղից կախված չլինելու օրենքը ճիշտ է, երբ գազի իոնացման աստիճանը սահմանափակ է:

ON PARTIAL PRESSURE OF PLASMA COMPONENTS

A. M. RESIKIAN

It is shown that total partial pressure of plasma components is independent of place, if the degree of ionization is limited.