

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Ю. Р. Аланакян, Новый тип ионизационной неустойчивости в плазме с отрицательными ионами, *ТВТ*, 1973, том 11, выпуск 3, 657–659

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.220.255.141

8 ноября 2024 г., 23:39:51



да [6] в канале, зависит только от средней напряженности  $E_0$  электрического поля в разрядном промежутке

$$\langle p_0 \rangle = (9/16) \epsilon \epsilon_0 E_0^2. \quad (1)$$

Естественно поэтому, что введение небольшого количества примеси в разряд при сохранении геометрии и разности потенциалов электродов, не должно было вызывать изменений динамического напора (и тяги).

Известно также (см. [6]), что мощность, расходуемая в таком течении на единичный секундный импульс, пропорциональна средней подвижности ионов  $\langle k \rangle$ , исполняющих роль носителей заряда

$$P_i = \langle k \rangle E_0. \quad (2)$$

Поэтому отношение мощности первого и второго измерений равно

$$v_i = P_{i1} / P_{i2} = \langle k_1 \rangle (\text{воздуха в воздухе}) / \langle k_2 \rangle (\text{примеси в воздухе}) \quad (3)$$

и пропорционально отношению подвижностей ионов в разряде.

Известно также и то, что подвижность ионов в газе пропорциональна коэффициентам диффузии соответствующих газовых молекул и поэтому

$$v_i = \langle k_1 \rangle / \langle k_2 \rangle \cong D_1 / D_2 = \sigma_2 / \sigma_1, \quad (4)$$

где  $\sigma_{2,1}$  — эффективное сечение тепловых столкновений молекул примеси в воздухе и собственных молекул в воздухе соответственно.

Для оценки  $v_i$  — коэффициента иницирования газового течения углеродсодержащей примесью — соотношение (4) может быть преобразовано к виду

$$v_i \cong N^{2/3}, \quad (5)$$

где  $N$  — число атомов в молекуле примеси.

Формула (5) получается при введении некоторого среднего межъядерного расстояния

$$\langle a \rangle = 1,2 \text{ \AA}, \quad (6)$$

как постоянного для всех молекул углеродистых соединений.

Вычисление по (5) для фреона-12 ( $N = 5$ ) дает величину коэффициента иницирования  $v_i = 2,9$ , что удовлетворительно (в пределах точности вывода (5) и допущения (6)) объясняет описанный выше опытный результат.

Государственный  
педагогический институт  
г. Армавир

Поступило в редакцию  
5 X 1972

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Степанов, А. Г. Дьячков. Ионизация в пламени и электрическое поле. «Металлургия», 1968.
2. W. R. Pickard. J. of Appl. Phys., 34, 246, 1963.
3. Г. И. Куськова, В. А. Зыков. Тр. Адыгейского гос. пединститута, 1, 73, 1962.
4. E. N. Christenson, P. S. Moller. AIAA J., 5, 975, 1967.
5. A. P. De Seversky. Jonockraft, U. S. Patent 3130945, 1964.
6. В. А. Зыков. Теплофизика высоких температур, 6, 1117, 1969.

УДК 533.951.8

### НОВЫЙ ТИП ИОНИЗАЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ПЛАЗМЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Ю. Р. Аланаян

В данном сообщении показано, что наличие отрицательных ионов может привести к раскачке ионизационных колебаний в слабо ионизованной плазме.

Ионизационно-рекомбинационные колебания плотности частиц в плазме, состоящей из электронов, положительных ионов и нейтральных частиц, исследованы в работе [1] в предположении, что в объем плазмы поступают извне нейтральные частицы и имеется утечка заряженных частиц. При наличии отрицательных ионов иородного газа система уравнений, описывающая задачу, имеет вид

$$dN / dt = \alpha N - \beta N N_e, \quad (1)$$

$$dN_+ / dt = -\alpha_+ N_+ + \beta N N_e - \gamma N_+ N_-, \quad (2)$$

$$dN_- / dt = -\alpha_- N_- + \zeta N_e - \gamma N_+ N_-, \quad (3)$$

$$N_e = N_+ - N_-, \quad (4)$$

где  $N_e$ ,  $N_+$ ,  $N_-$  и  $N$  — полные числа электронов, положительных и отрицательных ионов и нейтральных частиц соответственно. Первые члены в правых частях уравнений (1) — (3) характеризуют изменение числа частиц, обусловленное поступлением частиц извне и утечкой из плазмы; слагаемое  $\beta N N_e$  — процессом ударной ионизации;  $\xi N_e$  — прилипанием электронов;  $\gamma N_- N_+$  — объемной рекомбинацией ионов. Предполагается, что электроны прилипают лишь к нейтральным атомам инородного газа. Уравнение (4) — условие квазинейтральности.

Пусть концентрация отрицательных ионов мала. Это имеет место в случае, если

$$\xi\beta / \alpha_- \beta + \gamma\alpha \equiv \delta \ll 1.$$

При этом для малых отклонений от стационарных значений ( $N_{\alpha 0} \gg N_x - N_{\alpha 0} \sim \sim \exp(-i\omega t)$ ) система уравнений (1) — (4) дает следующую частоту колебаний:  $\omega = \omega' + i\omega''$ , при этом

$$\omega' = (\alpha\alpha_+)^{1/2}, \quad (5)$$

$$\omega'' = \frac{1}{2} \delta \frac{(\alpha_+ - \alpha_-)(\alpha_+ \alpha_- + R\alpha_- + R^2)}{\alpha\alpha_+ + (\alpha_- + R)^2}, \quad (6)$$

где  $R = \gamma\alpha / \beta$ .

Таким образом, ионизационно-рекомбинационные колебания оказываются неустойчивыми при  $\alpha_+ > \alpha_-$ .

Рассмотрим задачу в более корректной постановке, когда учитывается неоднородность плотности плазмы, утечка положительных ионов и электронов обусловлена амбиполярной диффузией, а нейтральные частицы, возникающие на границе плазмы в результате рекомбинации положительных ионов и электронов на стенках, проникают в объем плазмы в результате диффузии в плотном инородном газе [2]. В условиях, когда длина свободного пробега частиц намного меньше, чем характерные размеры плазмы, уравнения непрерывности, описывающие изменение плотности частиц, имеют вид

$$\partial n / \partial t = D\Delta n - \beta n n_e, \quad (7)$$

$$\partial n_+ / \partial t + \operatorname{div}(\mathbf{v}_+ n_+) = \beta n n_e,$$

$$\partial n_- / \partial t + \operatorname{div}(\mathbf{v}_- n_-) = -\alpha_- n_- + \xi n_e,$$

$$\partial n_e / \partial t + \operatorname{div}(\mathbf{v}_e n_e) = \beta n n_e + \alpha_- n_- - \xi n_e,$$

$$n_+ = n_e + n,$$

где

$$\mathbf{v}_+ = \pm b_+ \left( \mathbf{E} \mp T \frac{\nabla n_{\pm}}{n_{\pm}} \right); \quad \mathbf{v}_e = -b_e \left( \mathbf{E} + T_e \frac{\nabla n_e}{n_e} \right),$$

$\alpha_-^{-1}$  — эффективное время жизни отрицательного иона.

Поскольку ионы и электроны рекомбинируют на стенке, имеем следующие граничные условия:

$$n_+|_{\Sigma} = n_-|_{\Sigma} = n_e|_{\Sigma} = 0. \quad (8)$$

Рассмотрим задачу для плоскопараллельного слоя плазмы толщиной  $l$ . Предполагаем выполненными неравенства

$$n_e / n \ll D / b_+ T_e \ll (n_e / n)^{1/2} \ll 1,$$

$$\xi / \alpha_- - b_- b_+^{-1} \beta n \equiv \varepsilon \ll 1,$$

решаем систему уравнений (7) подобно тому, как это делалось в работе [2] и используя граничное условие (8), получим частоту ионизационно-диффузионных колебаний. Наличие отрицательных ионов дает несущественные поправки к значению  $\operatorname{Re} \omega$  ( $\omega' \simeq 4b_- T_e n_{e0}^{1/2} / l^2 n_0^{1/2}$ ,  $n_{e0}$ ,  $n_0$  — максимальные значения концентраций частиц [2]). Выражение для  $\operatorname{Im} \omega$  при  $\omega' \gg \alpha_- > 2\beta n b_- b_+^{-1}$  имеет следующий простой вид:

$$(\pi^2 b_+ T_e / 2l^2 (\varepsilon l - D / b_- T_e)),$$

где  $I = 2B(k, 1/2) / \pi$ ,  $B(k, 1/2) = \beta$ -функция,  $k = (2\xi b_+ / \varepsilon b_- \beta n) - 3$ .

Заметим, что  $I$  — величина положительная. Условие неустойчивости

$$\varepsilon I > D / \beta_+ T_e.$$

В другом предельном случае, когда  $\omega$ ,  $\alpha$ ,  $\xi \cdot n_c / n \ll \beta n b_+ b_-^{-1}$ , получим следующее условие неустойчивости:

$$C > D / b \cdot T_e (T_c / T)^{1/2},$$

$C$  — отношение числа отрицательных ионов к числу положительных.

Рассмотренная колебательная неустойчивость в определенных условиях, вероятно, имеет место в положительном столбе газового разряда, устойчивость которого рассмотрена в обзорах [3, 4].

ВНИИФТРИ

Поступило в редакцию  
31 I 1972

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. R. Roth. Phys. Fluids, **10**, 2712, 1967.
2. Ю. Р. Алапакян, Ю. М. Айвазян. Ж. эксперим. и теор. физ., **59**, 1032, 1970.
3. А. В. Недоспасов. Успехи физ. наук, **94**, 439, 1968.
4. Л. Пекарек. Успехи физ. наук, **94**, 462, 1968.

УДК 537.525.1

### ДИАГНОСТИКА ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ ПО ВРАЩЕНИЮ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А. И. Колеров, В. Д. Кутовой, Г. Д. Петров*

Исследования МГД и термоядерных установок требуют чаще всего бесконтактного определения параметров плазмы в диапазоне электронных концентраций  $N_e$   $5 \cdot 10^{13} \div 5 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. СВЧ-методы в этой области концентраций непригодны вследствие отсечки, а оптические — малочувствительны. В [1] показана перспективность субмиллиметрового (СВМ) диапазона длин волн при проведении интерферометрических исследований плазмы в указанном интервале концентраций электронов.

Предлагаемая работа посвящена определению концентрации электронов по вращению плоскости поляризации и частоты столкновений — по затуханию СВМ-излучения.

Если в плазме, находящейся в продольном магнитном поле, частота столкновений электрона много меньше плазменной, то угол поворота плоскости поляризации излучения, прошедшего через плазму 0, в радианах находится по формуле [2]

$$\theta = k \cdot \lambda^2 \int_0^l B \cdot N_e \cdot dl, \quad (1)$$

где  $k$  — постоянная, равная  $2,63 \cdot 10^{-17}$ ;  $B$  — магнитная индукция;  $\lambda$  — длина волны излучения;  $l$  — длина пути, проходимого излучением в плазме. Так как угол пово-

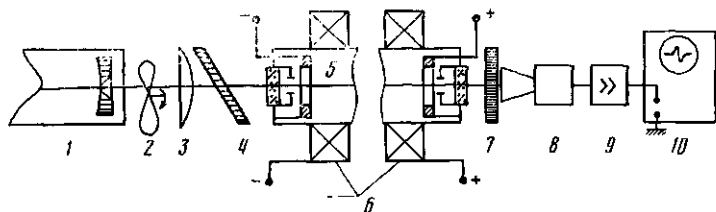


Рис. 1. Схема измерительной установки:

1 — лазер; 2 — механический модулятор, прерывающий луч с частотой 28 гц; 3 — собирающая линза; 4 — поляризатор; 5 — газоразрядная плазменная установка; 6 — обмотки электромагнита; 7 — анализатор; 8 — приемное устройство; 9 — узкополосный усилитель; 10 — осциллограф

рота плоскости поляризации пропорционален  $\lambda^2$ , переход от оптического диапазона к СВМ значительно увеличивает чувствительность метода.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Лазер 1 на смеси метана и азота имеет длину волны излучения  $\lambda = 337$  мк. Излучение лазера линейно поляризовано, по положение плоскости поляризации несколько менялось со временем, поэтому ставился дополнительный поляризатор 4 — металлическая сетка с периодом 60 мк или стопа из 20 полиэтиленовых пленок [3, 4]. Использование собирающих линз 3 из фторопласта позволило существенно улучшить пространственное