УДК 533.9(075.8)

КОЛЕБАНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ СЛАБОИЗОЛИРОВАННОЙ ПЛАЗМЫ

Б.М. Маркеев*, К.А. Панасюк**

**Московский государственный областной университет*
105005, Москва, ул. Радио, 10а
***Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского (МАТИ)*
121552, Москва, ул. Оршанская, д. 3

Аннотация. Для сильностолкновительной области частот $(\omega < \nu_{\text{in}})$ неоднородной слабоионизованной плазмы в предельных случаях большого $((K_z V_{\text{te}})^2 \gg \omega \nu_{\text{en}})$ и малого $((K_z V_{\text{te}})^2 < \omega \nu_{\text{en}})$ электронных коэффициентов диффузии получены спектры дрейфовых колебаний на основе решения кинетического уравнения методом Греда.
Ключевые слова: неоднородная слабоионизованная плазма, спектры дрейфовых колебаний.

При исследовании устойчивости неоднородной слабоионизованной плазмы в области $(\omega < \nu_{\text{in}})$ удобно исходить из линеаризованной системы уравнений Грэда[1] . Используя выражение для возмущения плотности, окончательно из уравнения Пуассона находим дисперсионное соотношение для определения спектра колебаний слабоионизованной неоднородной плазмы[2]

$$\frac{1}{2}\left(\frac{K_z V_{\text{ti}}}{\omega}\right)^2 \frac{\beta_e^{-1}}{\Delta_e}\{b_{\text{te}} a_{\text{Ee}}(1 - \frac{\omega_{\text{ne}}}{\omega}) - b_{\text{Ee}} a_{\text{te}}\} - \frac{1}{4}\left(\frac{K_z^2 V_{\text{te}} V_{\text{ti}}}{\omega^2}\right)^2 \frac{\beta_e^{-1}\beta_i^{-1}}{\Delta_e \Delta_i}\{b_{\text{te}} a_{\text{Ee}} - b_{\text{Ee}} a_{\text{te}}\} -$$

$$- \frac{1}{4}\left(\frac{K_z^2 V_{\text{te}} V_{\text{ti}}}{\omega}\right) \frac{\beta_e^{-1}\beta_i^{-1}}{\Delta_e \Delta_i}\{(b_{\text{te}} a_{\text{Ee}} - b_{\text{Ee}} a_{\text{te}}) b_{\text{ti}} a_{\text{ni}} (b_{\text{ti}} a_{\text{Ei}} -$$

$$- b_{\text{Ei}} a_{\text{ti}}) Z\} - i\frac{\nu_i}{\omega}(K_y \rho_i)^2 [\frac{\omega_{\text{ne}}}{\omega}(Z)] = 0$$

где $Z = -\frac{e_i}{e_e}\frac{T_e}{T_i}$,

$$\Delta_\alpha = b_{\text{t}\alpha} + \beta_\alpha^{-1} b_{\text{U}\alpha} a_{\text{t}\alpha}\left(\frac{K_z V_{\text{T}\alpha}}{\omega}\right);\ \omega_{\text{A}\alpha} = \frac{K_y T_\alpha}{m_\alpha \Omega_\alpha}\frac{\partial}{\partial x}\ln A;\ A = n_\alpha, T_\alpha, n_\alpha T_\alpha .$$

Кроме того, использовали следующие обозначения:

$$\beta_e = [1 + i\frac{4}{3}\frac{K_z \eta_e}{\omega n_e m_e} + i\frac{\nu_{e1}}{\omega}];\ \beta_i = [1 + i\frac{4}{3}\frac{K_z \eta_i}{\omega n_i m_i} + i\frac{\nu_{i1}}{\omega}]$$

$$a_{\text{ti}} = (1 + S_i);\ a_{\text{te}} = (1 + S_e);\ a_{\Phi\text{e}} = a_{\Phi\text{i}} = 1;\ b_{\Phi\text{e}} = \frac{3}{2}\frac{\omega_{\text{te}}}{\omega};$$

$$b_{\Phi\text{i}} = \frac{3}{2}\frac{\omega_{\text{ti}}}{\omega};\ b_{\text{Ue}} = -\frac{K_z V_{\text{te}}}{\omega};\ b_{\text{Ui}} = -\frac{K_z V_{\text{ti}}}{\omega}$$

$$b_{te} = \frac{3}{2}[1 + i\frac{2}{3}\frac{K_z^2\chi_e^{\prime\prime}}{\omega n_e} + 2i\frac{\delta\nu_e}{\omega}],$$

$$b_{ti} = \frac{3}{2}[1 + i\frac{2}{3}\frac{K_z^2\chi_e^{\prime\prime}}{\omega n_i} + 2i\frac{\delta\nu_i}{\omega}]$$

Исследуем сначала наиболее интересный случай малой электронной теплопроводности $((K_z V_{te})^2/\omega\nu_{e1} \ll 1)$.

$$\omega = \frac{\omega_{ne}}{1+q}\{1 + \frac{\omega_{te}}{\omega_{ne}}(1+S_e) + q\frac{\omega_{ni}}{\omega_{ne}}\}[1 - i\frac{\omega_{te}}{\omega_{ne}}\frac{(1+S_e)(\frac{2}{3}\frac{K_z^2\chi_e^{\prime\prime}}{\omega n_e} + 2\frac{\delta\nu_e}{\omega})}{1 + (1+S_e)\frac{\omega_{te}}{\omega_{ne}} + q\frac{\omega_{ni}}{\omega}} +$$

$$+\{q[\frac{(K_z V_{te})^2}{\omega\nu_{e1}}(\frac{2}{3}(1+S_e) - 1)(1 - \frac{\omega_{ni}}{\omega}) -$$

$$-\frac{\omega}{\nu_i}(\frac{\omega_{ni}}{\omega}(1 + \frac{1}{2}\frac{\omega_{ti}}{\omega}) - (1 - \frac{i\nu_{i2}}{\nu_i}\frac{3}{2}\frac{\omega_{te}}{\omega})]]\}\frac{i}{1+q}]$$

где $q = (\frac{r_{De}}{r_{Di}})^2\frac{\nu_i\nu_{e1}}{(K_z V_{te})^2}(K_y\rho_i)^2$. Это решение соответствует периодическим колебаниям плазмы ($\omega > \gamma$).В условиях, когда можно пренебречь градиентом концентрации и ларморовским радиусом ионов, спектр

$$\omega - i\gamma = \omega_{te}\{(1+S_e)(\frac{2}{3}\frac{K_z^2\chi_e}{\omega n_e} + 2\frac{\delta\nu_e}{\omega})\}$$

описывает дрейфовые колебания, обусловленные градиентом температуры. Декремент затухания этих колебаний в этом случае определяется теплопроводностью и передачей энергии электронов нейтралам.

В системе с однородной температурой $(\nabla_x T_e = 0)$ как следует из (1), существуют дрейфовые колебания, обусловленные градиентом концентрации. В пренебрежении ламоровским радиусом ионов спектр этих колебаний имеет вид

$$\omega = \omega_{ne}$$

а декремент затухания равен нулю.

Исследуем предельный случай большой электронной, но малой ионной теплопроводности $((K_z V_{te})^2/\omega\nu_{e1} \gg 1 \gg (K_z V_{ti})^2/\omega\nu_{i1})$. Дисперсионное уравнение имеет в этом пределе следующее решение

$$\omega = \omega_{ne}(1 - i\frac{\tau_{1e}^{-1}}{(K_z V_{te})^2}\frac{3}{2}\omega_{te}(1+S_e) - i\nu_i(K_y\rho_i)^2(1 - \frac{\omega_{ni}}{\omega_{ne}}))$$

Из этого выражения видно, что в данной области существуют периодические дрейфовые колебания с декрементом

$$\gamma = \frac{\omega_{ne}\tau_{1e}^{-1}}{(K_z V_{te})^2}\frac{3}{2}\omega_{te}(1+S_e) + i\nu_i(K_y\rho_i)^2(1 - \frac{\omega_{ni}}{\omega_{ne}})$$

Здесь предполагается, что градиенты температуры и концентрации имеют одно направление. Учет конечности ларморовского радиуса приводит к дополнительному затуханию дрейфовых колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Франк-Каменецкий Д.А.* Лекции по физике плазмы. – Издательский Дом “Интеллект”, 2008. –280 с.
2. *Лифшиц Е.М.,Питаевский Л.П.* Физическая кинетика. –М.: Физматлит, 2002. – 536с.

OSCILLATIONS OF AN INHOMOGENEOUS WEAKLY IONIZED PLASMA

B. Markeev*, K. Panasyuk**

**Moscow State Regional University*
10a, Radio St., Moscow, 105005, Russia
***Russian State Technological University*
3, Orshanskaya St., Moscow, 121552, Russia

*Abstract.*For a strongly non-uniform frequency region of weakly ionized plasma in the limiting cases of large and small electronic diffusion coefficients obtained spectra of drift oscillations on the basis of the solution of the kinetic equation by Grad.
Keywords: inhomogeneous weakly ionized plasma, the spectra of the drift oscillations.

УДК 532.529:532.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ СУПЕРГИДРОФОБНЫХ И ОБЫЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Э.С. Гринац[1,2], А.Б. Миллер[1,2], Ю.Ф. Потапов[1], А.Л. Стасенко[1,2]

[1]ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского»
140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1
[2]Московский физико-технический институт
141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9

Аннотация. Обобщены результаты исследований супергидрофобных, гидрофобных и обычных поверхностей в условиях обледенения на стенде. Показана перспективность использования супергидрофобных покрытий для противообледенительных систем. Рассмотрен эффект периодического самоочищения супергидрофобной поверхности ото льда в потоке. Развита простая математическая модель, иллюстрирующая тенденции зависимости гид-