

О СПЕКТРЕ ИОННО-ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ В КВАНТУЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Р. Д. Джамалов, А. А. Рухадзе

УДК 669.017, 538.56

Найден спектр ионно-звуковых колебаний в двухкомпонентной плазме в квантующем магнитном поле в условиях, когда энергия ларморовского кванта больше тепловой энергии электронов.

Известно, что в классической двухкомпонентной невырожденной и неизотермической плазме ($T_e \gg T_i$) существуют слабозатухающие ионно-звуковые колебания, спектр которых в области частот $\omega \ll \Omega_i$ определяется выражением ^{*})

$$\omega_{\text{кл}}^2 = k_z^2 v_s^2 \left[1 + \frac{k_z^2 v_s^2}{\Omega_i^2} + \frac{k_z^2 v_s^2}{\omega_{\text{Л}}^2} \right]^{-1}, \quad (I)$$

$$\gamma_{\text{кл}} = -\sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{m}{M} \frac{\omega_{\text{кл}}^4}{|k_z|^3 v_s^3},$$

где $v_s = \sqrt{T_e/M}$ - скорость классического ионного звука.

Представляет интерес вопрос о существовании таких колебаний в квантовой плазме в условиях, когда $\hbar \Omega_e \gg T_e$, а $T_i \gg \hbar \Omega_i$, т.е. движение электронов в магнитном поле квантовано, а движение ионов остается классическим. Для простоты ограничимся ультраквантовым пределом, т.е. нулевым приближением по параметру $T_e/\hbar \Omega_e$. Кроме того, для выявления квантовых эффектов, рассмотрим участок спектра, в котором $T_e \gg T_i \gg \hbar \omega$. В этих предположениях дисперсион-

^{*}) Здесь используются общепринятые в теории газовой плазмы обозначения (см. например /1/). Однако все полученные ниже результаты могут применяться и к плазме твердого тела, понимая под "e" - электроны, а под "i" - дырки.

ное уравнение исследуемых колебаний записывается в виде /2/

$$1 - \frac{k_z^2 \omega^2}{k^2 \omega^2} + \frac{\omega^2 k_z^2}{\Omega_1^2 k^2} + \frac{\omega^2}{k^2 \lambda^2 \Omega_e} \exp\left(-\frac{\lambda^2 k_z^2}{2}\right) \left\{ \frac{4m}{\hbar k_z^2} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{Re} J_+ \left(\frac{\hbar k_z}{2m v_{Te}} \right) + i \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\hbar \omega}{|k_z| T_e v_{Te}} \exp\left(-\frac{\hbar^2 k_z^2}{8m^2 v_{Te}^2}\right) \right\} = 0, \quad (2)$$

где $\lambda^2 = \hbar/m\Omega_e$.

Из уравнения (2) получаем следующий спектр слабозатухающих ионно-звуковых волн:

$$\omega_{KB}^2 = k_z^2 v_s^2 \left[\frac{4T_e}{\hbar \Omega_e} \frac{1}{\lambda^2 k_z^2} \exp\left(-\frac{\lambda^2 k_z^2}{2}\right) \operatorname{Re} J_+ \left(\frac{\hbar k_z}{2m v_{Te}} \right) + \frac{k_z^2 v_s^2}{\Omega_1^2} + \frac{k_z^2 v_s^2}{\omega_{Id}^2} \right]^{-1}, \\ \gamma_{KB} = -\sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{m}{M} \frac{\omega_{KB}^4}{|k_z| v_s^3} \exp\left(-\frac{\lambda^2 k_z^2}{2} - \frac{\hbar^2 k_z^2}{8m^2 v_{Te}^2}\right). \quad (3)$$

В классическом пределе, т.е. при $\lambda^2 k_z^2 \rightarrow 0$ и $\hbar^2 k_z^2/m^2 v_{Te}^2 \rightarrow 0$, спектр (3) переходит в (1). Этот предел соответствует области частот $\hbar \omega \ll T_e \sqrt{m/M}$.

В квантовом же пределе, когда $\hbar^2 k_z^2/m^2 v_{Te}^2 \gg 1$, т.е. $\hbar \omega \gg T_e \sqrt{m/M}$, независимо от величины $\lambda^2 k_z^2$ из (3) имеем

$$\omega_{KB}^2 = k_z^2 v_{s\ KB}^2 \left[\frac{4}{\lambda^2 k_z^2} \exp\left(-\frac{\lambda^2 k_z^2}{2}\right) + \frac{k_z^2 v_{s\ KB}^2}{\Omega_1^2} + \frac{k_z^2 v_{s\ KB}^2}{\omega_{Id}^2} \right]^{-1}, \quad (4)$$

где $v_{s\ KB} = \sqrt{\hbar \Omega_e/M}$ можно назвать скоростью квантового ионного звука, поскольку роль T_e играет $\hbar \Omega_e$. Выражение для декремента затухания γ_{KB} при этом остается неизменным (3).

В заключение заметим, что для наблюдения в квантовом пределе ионно-звуковых колебаний, определяемых формулой (4), необхо-

димо, чтобы в плазме выполнялись наряду с указанными выше также и следующие условия: $\hbar\omega_{Le} \gg T_e \gg \hbar\omega_{Ll}$. Такие условия можно реализовать в полупроводниковой плазме с горячими электронами и большим отношением эффективных масс носителей тока.

Поступила в редакцию
II июля 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. Л. Гинзбург, А. А. Рухадзе, Волны в магнитоактивной плазме, М., "Наука", 1975 г.
2. Р. Д. Джамалов, В. В. Колесов, А. А. Рухадзе, Проблемы физики твердого тела, изд. УНЦ АН СССР, Свердловск, стр. 87, 1975 г.