Краткие сообщения по физике № 11 1981

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ ВЫРОЖДЕННОЙ ПЛАЗМЫ (НУЛЕВОЙ ЗВУК)

В. А. Бабенко

УДК 533.951.2

В приближении плоской границы получен спектр поверхностных волн типа нулевой звук, которые можно использовать для определения концентрации электронов вырожденной плазмы.

Одним из методов исследования вырожденной плазмы твердых тел является наблюдение поверхностных волн, распространяющихся в последних. В данной работе в приближении плоской границы исследуются высокочастотные поверхностные волны типа нулевой звук в вырожденной полуограниченной бесстолкновительной плазме.

Как известно /I/, в вырожденной бесстолкновительной плазме существуют незатухающие продольные электронные колебания, спектр которых находится из решения дисперсионного уравнения $\varepsilon^1(\omega,\vec{k}) = 0$,

$$\varepsilon^1(\omega,\vec{k}) = 1 + \frac{3\omega_{Le}^2}{k^2V_{Fe}^2}\left(1 - \frac{\omega}{2kV_{Fe}}\ln\frac{\omega + kV_{Fe}}{\omega - kV_{Fe}}\right). \qquad (I)$$

При условии $k^2r_{de}^2 \gg 1$, отсюда находим

$$\omega = kV_{Fe}\left[1 + 2\exp\left(-\frac{2}{9}k^2r_{de}^2 - 2\right)\right], \qquad (2)$$

где $r_{de}^2 = 3V_{Fe}^2/\omega_{Le}^2$ - дебаевский радиус для электронов, $\omega_{Le}^2 = 4\pi ne^2/m_e$ - ленгмюровская частота, $V_{Fe} = (3\pi^2)^{1/3}\hbar n^{1/3}/m_e$ - фермиевская скорость электронов, $\varepsilon^1(\omega,\vec{k})$ - продольная диэлектрическая проницаемость, в которой учтен вклад электронов. Колебания со спектром (2) известны под названием нулевого звука.

В случае полуограниченной плазмы, очевидно, существует поверхностный аналог этих волн со спектром, который определяется из следующего дисперсионного уравнения:

$$D(\vec{k},\omega) = 1 + \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{|k_z|\, dk_x}{k^2 \varepsilon^l(\omega,\vec{k})} = 0.$$

Здесь $\varepsilon^l(\omega,\vec{k})$ определяется выражением (I), а $k^2 = k_x^2 + k_z^2$, где k_z, k_x – составляющие волнового вектора $\vec{k}$ вдоль и по нормали к границе раздела плазма – вакуум. Условие существования нулевого звука в этом случае записывается в виде $k_F^2 r_{de}^2 \gg k_z^2 r_{de}^2 \gg 1$; $k_F = m_e V_{Fe}/\hbar$. При $\omega_{Le} < \omega < k V_{Fe}$ ж), а рассматривается именно этот случай, у $\varepsilon^l(\omega,\vec{k})$ появляется мнимая часть, ответственная за затухание (γ) поверхностных волн. Ввиду сложности вычислений аналитически удается получить (приближенно) спектр поверхностных волн для узкого интервала значений k_z, когда $1 \ll k_z^2 r_{de}^2 \leqslant 20$:

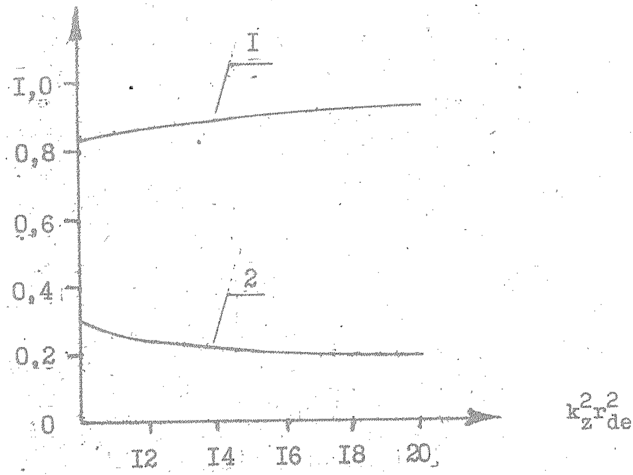
$$\omega = k_z V_{Fe}\left[1 - \frac{2,649}{k_z^2 r_{de}^2}\left(1 + \frac{k_z^2 r_{de}^2}{15,532}\right)^{-1}\right];$$

$$\gamma = -\,0,541 k_z V_{Fe}\left[-1 - \left(\frac{k_z^2 r_{de}^2}{20,437}\right)^2 + \frac{k_z^2 r_{de}^2}{9,685} + \frac{4,652}{k_z^2 r_{de}^2} + \left(\frac{4,222}{k_z^2 r_{de}^2}\right)^2 - \left(\frac{7,116}{k_z^2 r_{de}^2}\right)^3 + \left(\frac{8,365}{k_z^2 r_{de}^2}\right)^4\right].$$

Графические зависимости ω и γ от $k_z^2 r_{de}^2$ показаны на рис. I.

Затухание поверхностных волн в направлении нормали к границе раздела сред определяется экспонентой $\exp(-x/\Lambda_\perp)$, где $\Lambda_\perp \approx 6,4/k_z^2 r_{de} \sim r_{de}/2$; очевидно, $\Lambda_\perp$ характеризует поперечный размер поверхностного слоя, в котором распространяется поверхностная волна. Поскольку $\Lambda_\perp \gg \Lambda_\parallel \sim 1/k_z$, то это делает возможным наблюдение поверхностных волн по затуханию последних вдоль норма-

ж) Случай, когда $k_z V_{Fe} \ll \omega_{Le}$, рассмотрен в работе /2/.



Р и с. I. Зависимости частоты поверхностных волн $\omega/k_z V_{Fe}$ (кривая I) и их затухания $|\gamma/k_z V_{Fe}|$ (кривая 2) от $k_z^2 r_{de}^2$

ли к границе плазмы. Кроме того, наблюдение колебаний, спектр которых лежит в области прозрачности металлов, дает возможность определить по измеренной частоте последних (при известном k_z) концентрацию электронов вырожденной плазмы.

Поступила в редакцию
29 мая I98I г.

Л и т е р а т у р а

I. А. Ф. Александров, Л. С. Богданкевич, А. А. Рухадзе, Основы электродинамики плазмы, "Высшая школа", М., I978 г.

2. D. Wagner, Zeitsch. für Naturf., 21a, 634 (1966).