

Пылеакустические волны в неравновесной сжатой пылевой плазме

A.V. Filippov¹, A.N. Starostin¹, I.M. Tkachenko², V.E. Fortov³

¹ Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research, Troitsk, Moscow region, 142190 Russia

² Instituto de Matemática Pura y Aplicada, Universidad Politécnica de Valencia, 46022 Valencia, Spain

³ Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Moscow, 127412 Russia

Динамические свойства неравновесной пылевой плазмы при повышенных давлениях ($1 \text{ Torr} \leq p \leq 760 \text{ Torr}$) изучаются в диффузионно-дрейфовом приближении, когда пыль может рассматриваться как непрерывная среда в присутствии стационарного внешнего или внутреннего источника ионизации. Система моделируется как однокомпонентная плазма, в которой экранирование осуществляется электронами и ионами нейтрализующей среды и описывается суперпозицией двух экспонент с различными параметрами экранирования:

$$\phi(r) = \frac{Z_d^2 e^2}{r} (\theta_1 e^{-k_1 r} + \theta_2 e^{-k_2 r}), \quad \theta_1 + \theta_2 = 1 \quad (1)$$

Этот эффективный потенциал взаимодействия учитывает влияние источников ионизации, стоков, рекомбинации и т.п.; он сводится к дебаевскому лишь в изотермической плазме. В (1) $k_1 \approx k_D$ – дебаевский параметр экранирования, определяемый средой и стоками, $1/k_2$ имеет порядок среднего пробега ионов в процессе амбиполярной диффузии за характерное рекомбинационное время.

Частицы пыли с $Z_d \leq -200$ и с концентрацией $n_d = (10^2 - 10^6) \text{ см}^{-3}$ образуют неидеальную кулоновскую систему без пертурбативных параметров и поэтому мы рассматриваем динамические свойства сжатой пылевой плазмы методом моментов, дополненным гидродинамическим подходом. Физические характеристики системы учитываются, в рамках метода моментов, через правила сумм, т.е. через степенные частотные моменты функции потерь,

$$C_\nu = \pi^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^{\nu-1} \text{Im} \varepsilon^{-1}(k, \omega) d\omega, \quad \nu = 0, 2, 4.$$

Частота $\omega_2(k) = \sqrt{C_4(k)/C_2}$ дает оценку дисперсии пылеакустических волн, которую мы уточняем для неравновесной пылевой плазмы с биэкспоненциальным взаимодействием (1) между частицами пыли. Как моментный, так и гидродинамический подходы применяются для учета неидеальности, через вычисленные моменты или через скорость звука, определяемую из соответствующего уравнения состояния. Показано, что пылеакустические волны имеют две заметно отличные фазовые скорости в различных интервалах изменения волнового числа и что соответствующие групповые скорости много выше равновесных. Метод моментов указывает также на возможность существования дополнительной мягкой моды, но окончательное согласование результатов моментного и гидродинамического подходов потребует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.