

Перенос энергии между степенями свободы в пылевой плазме.В.П. Семенов^{1,2}, А.В. Тимофеев^{2,3}¹Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»²Объединённый институт высоких температур РАН³Московский физико-технический институт (государственный университет)

Перенос энергии между степенями свободы с плазменно-пылевой системе представляет большой интерес при исследовании физики пылевой плазмы [1—4]. Один из механизмов такого переноса энергии основан на явлении параметрического резонанса и его начальные стадии могут быть описаны расширенным уравнением Матъе [3—4]:

$$\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2(1 + h\cos(\omega_p t))x = \eta(t), \quad (1)$$

где ω_0 — собственная частота горизонтальных колебаний, ω_p — удвоенная частота вертикальных колебаний, h — глубина модуляции, λ — коэффициент трения, а $\eta(t)$ — случайная сила с нулевым средним, определяемая стохастическими столкновениями с нейтралами и флуктуацией заряда пылевых частиц. Аналитический подход к решению уравнения (1) при $\lambda \ll 1$, $h \ll 1$ и $\varepsilon = \omega_p - 2\omega_0/n \ll \omega_0$ основан на подходе, продемонстрированном в [5] и позволяет получать решения различных порядков точности. При этом области резонанса наблюдаются вблизи отношения частот $\omega_0/\omega_p = n/2$. Однако, параметры лабораторного эксперимента выходят за границу приближения малых λ и h .

Путем численного решения уравнения (1) получены области резонанса, значения показателя роста амплитуды и времена наступления резонанса для широкого диапазона параметров, соответствующего стандартному лабораторному эксперименту.

Результаты численного моделирования показывают, что наличие значительного трения в системе приводит к смещению нижних точек областей резонанса от отношений частот $\omega_0/\omega_p = n/2$. Более того, наблюдается сильное сближение областей резонанса при росте глубины модуляции h . Так при достаточно большом значении h резонанс возникает при практически любом соотношении частот ω_0/ω_p , а не только близких к $n/2$. Полученные результаты позволяют описать спектр колебаний, участвующих в переносе энергии более подробно.

Проведено сравнение результатов решения расширенного уравнения Матъе с результатами моделирования системы пылевых частиц. Использована трёхмерная модель монослоя пылевых частиц в приэлектродном слое газового разряда, учитывающая гравитацию, электрическое поле приэлектродного слоя, взаимодействие пылевых частиц друг с другом и

трение пылевых частиц о нейтральный газ разряда. Заряд пылевых частиц при этом зависит от расстояния до электрода и флуктуирует стохастически. Данная модель подробнее описана в работе [2]. Получено согласование показателей роста энергии, полученных при решении уравнения (1) и моделирования плазменно-пылевой системы. Ширина и положение спектральных пиков горизонтального движения соответствуют областям резонанса расширенного уравнения Матье. Набор параметров, при которых наблюдается перенос энергии в плазменно-пылевой системе согласуются с условиями возникновения параметрического резонанса в уравнении (1).

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Теплофизика высоких плотностей энергии» (координатор – чл.-корр. РАН Г.И. Канель).

Литература

1. *Ivlev A.V., Knopka U. and Morfill G.E.* Influence of charge variation on particle oscillations in the plasma sheath — *Phys. Rev. E* — 2000 — 62 — 2739.
2. *Норман Г.Э., Стегайлов В.В., Тимофеев А.В.* Аномальная кинетическая энергия системы пылевых частиц в плазме газового разряда. — *ЖЭТФ* — 2011 — Т. 140. — № 5. — С. 1017-1032.
3. *Semyonov V.P., Timofeev A.V.* The parametric resonance features for theory of energy transfer in dusty plasma — *J. Phys.: Conf. Ser.* — 2015 — 653 — 012138.
4. *Semyonov V.P., Timofeev A.V.* Resonance regions of extended Mathieu equation — *J. Phys.: Conf. Ser.* — 2016 — 681 — 012025.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: учебное пособие — в 10-ти т. Т. I Механика. — 4-е изд. // М.: Наука — 1988.