

УДК 533.9

О МЕХАНИЗМЕ НАБОРА ЭНЕРГИИ ПЫЛИНКОЙ В ИОННОМ ПОТОКЕ

С. А. Майоров

Указан механизм набора энергии заряженной пылинкой, находящейся в потенциальной яме, за счет систематического отбора энергии у ионного потока. Характер кулоновских сечений приводит к появлению некоторой ускоряющей в среднем эффективной силы, пропорциональной энергии пылинки.

Введение. Расчеты [1, 2] показали, что пылинка, находящаяся в ионном потоке, начинает раскачиваться вблизи положения равновесия. Энергия, приобретаемая пылинкой, становилась значительно больше, чем энергия ионов. Причины этого были не ясны, т.к. пылинка раскачивалась и при фиксированном заряде. В то же время, наиболее распространенное мнение о причинах экспериментально наблюдаемой раскачки пылинок в приэлектродном слое плазмы основано на коррелированных флуктуациях заряда пылинки [3, 4]. Здесь рассматривается несколько другой механизм, основанный на специфической зависимости кулоновских сечений от скорости.

Модель. Рассмотрим тяжелую (массивную) пылинку с массой M , зарядом Ze и скоростью u , локализованную в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме, так что она может находиться в интервале $0 < x < L$. Пусть на нее воздействует ионный поток частиц с плотностью N_i , массой m , зарядом e , скоростью $V \gg u$. Если радиус пылинки бесконечно мал, то в приближении мгновенных парных столкновений средняя сила "трения", действующая на пылинку со стороны ионов, имеющих прицельный параметр меньше ρ_{max} , равна [5]:

$$F_{col} = \frac{4\pi z^2 e^4 N_i}{m(V-u)^2} \Lambda,$$

где кулоновский логарифм $\Lambda = \ln \frac{\sqrt{\rho_{\perp}^2 + \rho_{max}^2}}{\rho_{\perp}} \approx \ln \frac{\rho_{max}}{\rho_{\perp}}$, $\rho_{\perp} = ze^2/mv^2$ – значение прицельного параметра, при котором частица отклоняется на прямой угол, v – относительная

скорость частиц. Отметим, что ρ_{\perp} здесь не является нижним пределом обрезания, т.к. учитываются все столкновения с $\rho < \rho_{max}$. ρ_{max} принимается обычно равным дебаевскому радиусу.

Работа, совершенная потоком над пылинкой при ее перемещении из точки $x = 0$ в точку $x = L$ со скоростью u и обратно со скоростью $-u$ равна

$$\Delta A = A_{12} - A_{21} = \frac{4\pi z^2 e^4 N_i}{m} \Lambda \left[\frac{1}{(V - u)^2} - \frac{1}{(V + u)^2} \right] L > 0.$$

При этом использовано естественное для случая пылевой плазмы предположение о том, что пылинка незначительно меняет свою энергию за период и пренебрегается зависимостью кулоновского логарифма от скорости. Таким образом, на пылинку со стороны потока действует в среднем ускоряющая сила

$$F_{eff} = F_{col} \frac{u^2}{V^2},$$

где F_{col} – кулонова сила со стороны потока.

Конечный размер частицы не меняет ситуации, т.к. сечение захвата ионов пылинкой зависит от скорости аналогично.

Заключение. Наличие постоянной ускоряющей в среднем силы, действующей на пылинку, приводит к ее раскачке. Интересной особенностью является то, что эта сила пропорциональна ее энергии (квадрату скорости), в то время как сила трения со стороны атомов нейтрального газа, являющаяся основным демпфирующим фактором, пропорциональна первой степени скорости. Таким образом, при достижении некоторой энергии, сила раскачки может стать доминирующим фактором. По своей сути, описанный механизм раскачки аналогичен эффекту убегающих электронов (та же причина – уменьшение кулоновского сечения при увеличении скорости).

Выражаю признательность за полезные обсуждения Владимирову С. В. и Н. Крамеру, также Австралийскому исследовательскому совету (ARC), Нидерландской организации научных исследований (NWO) и Российскому фонду фундаментальных исследований (проект 02-02-16439) за финансовую поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Владимиров С. В., Крамер Н., Майоров С. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 9, 33 (2000).

- [2] Vladimirov S. V., Maierov S. A., and Cramer N. F. Phys. Rev. E, **63**, 045401(R) (2001).
- [3] Ivlev A. V., Konopka U., and Morfil G. Phys. Rev. E, **62**, 2739 (2000).
- [4] Ваулина О. С., Нефедов А. П., Петров О. Ф., Храпак С. А. ЖЭТФ, **115**, 1130 (1999).
- [5] Трубников Б. А. В сб.: Вопросы теории плазмы, вып. 1, М., Атомиздат, с. 98, 1963.

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 30 октября 2002 г.