

Волновые процессы в кулоновских структурах, удерживаемых в ловушке Пауля.*Д.С. Лапицкий*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН)

Аннотация.

В работе представлены экспериментальные исследования по формированию волновых процессов в кулоновских структурах заряженных частиц, удерживаемых в линейной ловушке Пауля. Одинокная автоволна, сформированная у торцов ловушки, перемещалась вдоль структуры захваченных частиц.

Введение.

Первая ловушка, удерживающая заряженные частицы переменным электрическим полем, описана в 1958 году [1]. Заряженные частицы, захваченные в такой ловушке, были изучены в воздухе при нормальных условиях в работах [2, 3, 4]. Межчастичные расстояния в линейных кулоновских структурах, удерживаемых в линейных ловушках, были определены в [5].

Существование низкочастотных колебаний и неустойчивостей в пылевой плазме, приводящих к самовозбуждениям бегущих волн, было обнаружено в [6, 7, 8, 9, 10]. Эти эффекты вызвали интерес к теоретическому изучению волновых процессов в пылевой плазме. Решение этой задачи связано с рядом трудностей: появление дополнительных степеней свободы (заряд частиц); необходимость правильно учитывать упругие и неупругие столкновения частиц. Попытки создания кинетической теории были предприняты в работах [11, 12].

В данной работе было экспериментально исследовано формирование неустойчивости в кулоновской структуре заряженных частиц, захваченной в линейной ловушке Пауля.

Экспериментальная установка.

Схема установки представлена на рис. 1. Установка состояла из линейной ловушки Пауля, состоящей из четырех цилиндрических электродов (1 и 2 на рис. 1а) с радиусом $r_1 = 1,5$ мм и длиной $l_m = 30$ см, и кольцевого электрода у одного из торцов ловушки. На электроды подавалось переменное напряжение $U_0 \sin(\omega t)$ и $U_0 \sin(\omega t + \pi)$ с амплитудой $U_0 = 10$ кВ и частотой $f = 2\pi\omega$, $f = 50$ Гц. На кольцевой электрод подавался постоянный положительный потенциал $\Delta U = 1$ кВ.

В эксперименте в ловушку инжектировался порошок предварительно положительно заряженных частиц Al_2O_3 ($\rho_p = 3990$ кг/м³) [13]. Постоянный потенциал на кольцевом электроде препятствовал выходу частиц в область, где были расположены коммутаторы электродов ловушки с источником высокого напряжения. Другой конец электродов ловушки был свободен. На свободных концах ловушки на частицы действовала эффективная сила, направленная внутрь ловушки [14], в то же время за счет внешнего параметрического воздействия на структуру переменным электрическим полем происходила накачка энергии в структуру, в результате чего в структуре возникала автоволна, представленная на рис. 1б. На рис. 1б волна перемещается от свободного конца справа налево вдоль структуры частиц. Доходя то до кольцевого электрода, то до свободных концов электродов, волна отражалась и двигалась в обратную сторону с той же скоростью. Скорость волны составляла $5,3 \pm 0,1$ см.

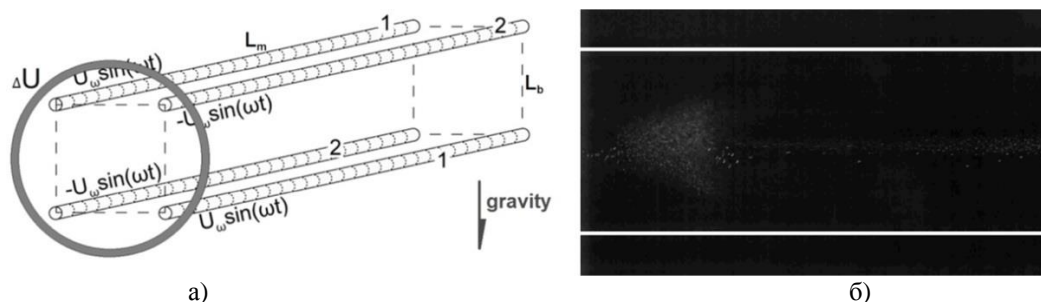


Рис. 1. а) схема установки; б) волна, бегущая по структуре справа налево со скоростью $5,3 \pm 0,1$ см, белые линии соответствуют внутренним поверхностям электродов ловушки.

Заключение.

В работе экспериментально наблюдалось формирование волнового процесса в кулоновской структуре, удерживаемой в ловушке Пауля. Одиночная автоволна, сформированная у торцов ловушки, перемещалась вдоль структуры захваченных частиц.

Литература.

1. Пауль В. Электромагнитные ловушки для заряженных и нейтральных частиц. УФН. 1990. Т. 160. № 12. С. 109.
2. Filinov V.S., Lapitsky D.S., Deputatova L.V., Vasilyak L.M., Vladimirov V.I. and Pecherkin V.Ya. Dust Particles Behavior in an Electrodynamical Trap // Contribution to Plasma Physics. 2013. V. 53. N. 4-5. P. 450-456.
3. Vasilyak L.M., Vladimirov V.I., Deputatova L.V., Lapitsky D.S., Molotov V.I., Pecherkin V.Ya., Filinov V.S. and Fortov V.E. Coulomb stable structures of charged dust particles in a dynamical trap at atmospheric pressure in air // New Journal of Physics. 2013. V. 15, P. 043047.
4. Filinov V.S., Lapitsky D.S., Deputatova L.V., Vasilyak L.M., Vladimirov V.I. and Sinkevich O.A. Dynamic Dust Particle Confinement in Corona Discharge Plasma // Contribution to Plasma Physics. 2012. V. 52. N. 1. P. 66-69
5. Stoican O., Mihalcea B. and Gheorghe V. Miniaturized trapping setup with variable frequency // Romanian Reports in Physics. 2001. V. 53. N. 3-8. P. 275-280.
6. Fortov V.E., Khrapak A.G., Khrapak S.A., Molotov V.I., Nefedov A.P., Petrov O.F., Torchinsky V.M. Mechanism of dust-acoustic instability in a direct current glow discharge plasma // Physics of Plasmas. 2000. V. 7. P. 1374
7. Sorasio G., Resendes D.P., Shukla P.K. Induced oscillations of dust grains in a plasma sheath under low pressures // Physics Letters A. 2002. V. 293. N. 1-2. P. 67-73.
8. Chu J.H., Ji-Bin Du and Lin I. Coulomb solids and low-frequency fluctuations in RF dusty plasmas // Journal of Physics D: Applied Physics. 1994. V. 27. P. 296-300.
9. Barkan A., Merlino R.L. and D'Angelo N. Laboratory observation of the dust-acoustic wave mode // Physics of Plasmas. 1995. V. 2. N. 10. P. 3563-3565.
10. Molotov V.I., Nefedov A.P., Torchinski V.M., Fortov V.E. and Khrapak A.G. Dust acoustic waves in a dc glow-discharge plasma // Journal of Experimental and Theoretical Physics. 1999. V. 116. P. 902-907.
11. Tsytoich V.N. and U. de Angelis. Kinetic theory of dusty plasmas. III. Dust-dust collision integrals // Physics of Plasmas. 2001. V.8. P.1141.
12. Tsytoich V.N. and U. de Angelis. Kinetic theory of dusty plasmas. IV. Distribution and fluctuations of dust charges // Physics of Plasmas. 2002. V. 9. P. 2497.
13. Lapitsky D.S., Filinov V.S., Deputatova L.V., Vasilyak L.M., Vladimirov V.I., Pecherkin V.Ya. Confinement of the charged microparticles by alternating electric fields in a gas flow // Europhysics Letters. 2015. V. 110. P. 15001
14. Lapitsky D.S. Effective forces and pseudopotential wells and barriers in the linear Paul trap // Journal of Physics: Conference Series. 2015. V. 653. P. 012130.