

Молдабеков Ж.А.,
Рамазанов Т.С., Габдулин А.Ж.

**Структурные свойства
заряженных пылевых частиц
с дипольными моментами**

В этой работе рассматривается двухмерная система заряженных пылевых частиц, учитывающая дипольный момент, методом Молекулярной Динамики. Как известно, в газовом разряде пылевую частицу и сфокусированное ионное облако можно рассматривать как одну составную частицу с ненулевым дипольным моментом. Отметим, что пылевая плазма, которая состоит из электронов, ионов и нейтральных атомов, в целом трехмерная. При всем том, движение пылинок ограничена двумерной плоскостью. Было проанализировано влияние дополнительного слабого диполь-дипольного взаимодействия на структурные свойства системы на основе парной корреляционной функции. Пылевые частицы левитируют в результате равновесия между силой притяжения и силой внешнего электрического поля. Обсужден возможный метод экспериментального наблюдения дипольного взаимодействия между пылевыми частицами и размер дипольного момента пылевых частиц в газоразрядной комплексной плазме.

Ключевые слова: пылевая плазма, свойства плазмы, моделирование плазмы.

Moldabekov Zh.A.,
Ramazanov T.S., Gabdulin A.Zh.

**Structural properties of charged
dust particles with dipole
moments**

Molecular dynamics simulation of a two-dimensional system of charged dust particles was carried out in view of the dipole moments. As it is known, in gas discharge the dust particle and ions focused by the dust grain can be considered as a one compound particle with non-zero dipole moment. Notice that in general dusty plasma, which consists of electrons, ions and neutral atoms, is three-dimensional. However, the movement of dust particles is limited to two-dimensional plane. The influence of non-zero dipole moment on the structural properties of the system was analyzed on the basis of the pair correlation function. Possible experimental observation of dipole interaction between dust particles and that of the measurement of dust particles the dipole moment of the complex plasma are discussed in the gas discharge.

Key words: Dusty plasmas, plasma properties, plasma simulation.

Молдабеков Ж.А.,
Рамазанов Т.С., Габдулин А.Ж.

**Дипольдік моменті бар
зарядталған бөлшектердің
құрылымдық қасиеттері**

Бұл жұмыста молекулалық динамика әдісімен дипольдік моментін ескере отырып зарядталған тозаңды бөлшектердің екі өлшемді жүйесі қарастырылады. Барлығымызға белгілі, газдық разрядта тозаңды бөлшекті және фокусталған иондық бұлтты дипольдік моменті нөлге тең емес бір толық бөлшек ретінде қарастырылады. Айта кететін жайт, электрондардан, иондардан және нейтрал атомдардан тұратын тозаңды плазма, әдетте үш өлшемді. Бірақ, тозаңды бөлшектердің қозғалысы екі өлшемді. Қос корреляциялық функцияның негізінде нөлдік емес диполь моментінің жүйенің құрылымдық қасиетіне әсерін анықталды. Сыртқы электр өрісі күші мен ауырлық күш теңескен кезде тозаңды бөлшек тепе-теңдікте тұрады (левитацияланады). Газдық разрядты комплексті плазмадағы тозаңды бөлшектердің дипольдік өзара әсерлесуі және дипольдік моменттің өлшемін экспериментте қалай бақылауға болатындығы талқыланды.

Түйін сөздер: тозаңды плазма, плазма қасиеттері, плазма моделдеу.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ С ДИПОЛЬНЫМИ МОМЕНТАМИ

Введение

Появление дипольного момента у пылинки, в связи с неравновесным эффектом в газоразрядной плазме была теоретически предсказана в [1] – [3]. Тем не менее, экспериментальное наблюдение было реализовано для пылевых частиц в газообразном состоянии [4], [5]. Недавно предполагалось, что аномально высокая кинетическая энергия пылевых частиц, что приводит к плавлению пылевой системы, обусловлена взаимодействием между составными частицами (заряженная пылевая частица + фокусированное ионное облако) [6]. Тем не менее, есть и другие неустойчивости, которые могут быть ответственны за аномально высокую кинетическую энергию пылевых частиц, такие как резонанс между вертикальными и горизонтальными режимами колебаний [7] и переход порядок-беспорядок индуцированного потока ионов [8]. Таким образом, чистого наблюдения дипольного момента пылевых частиц в сильно связанной пылевой плазме по-прежнему не хватает. Поскольку прямое измерение дипольного момента пылевых частиц в такой системе является сложной задачей, в связи с сложной природой фазового перехода системы пылевых частиц в удерживающий потенциал [9], косвенные методы становятся интересными. С этой целью теоретические разработки возможных методов для таких измерений представляют интерес.

Было доказано, что метод молекулярной динамики (МД) может точно описать свойства пылевой плазмы. Очень хорошее согласие наблюдалось между парной корреляционной функции (ПКФ), рассчитанной по МД и ПКФ полученной экспериментально [10]. Кроме того, было показано, что компьютерное моделирование может помочь в точности измерить свойства пылевой плазмы, такие как заряд пылевых частиц и электронов (ионов) [11], [12].

В этой статье мы рассмотрим двумерную систему заряженных пылевых частиц, предполагая, что каждая пылинка имеет определенный дипольный момент. Анализируя ПКФ позиций частиц, прогнозируется наблюдаемое различие в структуре между системой чистых юкавских шаров и системой заряженных частиц с дополнительным диполь-дипольным взаимодействием.

References

- 1 G. Lapenta, *Phys.Rev.Lett.*, 75, 4409–4412, (1995).
- 2 P.K. Shukla and B. Eliasson, *Rev. Modern Phys.*, 81, 25–44, (2009).
- 3 G.I. Sukhinin and A.V. Fedoseev, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 38 (9), 2345–2352, (2010).
- 4 K.-B. Chai and P.M. Bellan, *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, 127, 83–91, (2015).
- 5 R. Yousefi, A.B. Davis, J. Carmona-Reyes, L.S. Matthews, and T.W. Hyde, *Phys. Rev. E*, 90, 033101, (2014).
- 6 E.A. Lisin, I.I. Lisina, O.S. Vaulina, and O.F. Petrov, *Phys. Plasmas*, 22 (3), 033704, (2015).
- 7 K. Qiao, J. Kong, J. Carmona-Reyes, L.S. Matthews, and T.W. Hyde, *Phys.Rev.E*, 90, 033109, (2014).
- 8 H. Käehlert, *Phys. Plasmas*, 22 (7), 073703 (2015).
- 9 H. Thomsen and M. Bonitz, *Phys. Rev. E*, 91, 043104, (2015).
- 10 T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova, S.K. Kodanova, T.T. Daniyarov, and M.K. Dosbolayev, *Contrib. Plasma Phys.*, 49 (1–2), 15–20, (2009).
- 11 T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova, K.N. Dzhumagulova, and N.K. Bastykova, *Europhys. Lett.*, 96, no. 4, 45004, (2011).
- 12 S.A. Orazbayev et al., *Contrib. Plasma Phys.*, 53 (4–5), 436–441, (2013).
- 13 T.S. Ramazanov, A.Z. Moldabekov, and M.T. Gabdullin, «Multipole expansion and effective interaction potentials of plasma particles,» to be published in *Phys.Rev. E*.
- 14 L.D. Landau and E.M. Lifshitz, *Theory of Fields*. Moscow, Russia: Physmathlit, 2003, pp. 133–141.
- 15 S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, N.K. Bastykova, and Z.A. Moldabekov, *Phys. Plasmas*, 22, (6), 063703, (2015).
- 16 M.P. Allen and D.J. Tildesley, *Computer Simulation of Liquids*. New York, NY, USA: Oxford Univ. Press, 1991, pp. 184–185.
- 17 S. Iwashita et al., *J. Phys. D, Appl. Phys.*, 46(24), 245202, (2013).
- 18 T. Ott, M. Stanley, and M. Bonitz, *Phys. Plasmas*, 18 (6), 063701, (2011).
- 19 P. Hartmann, G. J. Kalman, Z. Donkó, and K. Kutasi, *Phys.Rev.E*, 72, 026409, (2005).
- 20 K.I. Golden, G.J. Kalman, P. Hartmann, and Z. Donkó, *Phys. Rev. E*, 82, 036402, (2010).