

**А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, Ю.В. Архипов, Е.С. Мухаметкаримов,
А. Кисан, С. Момынов**

*Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы,
Республика Казахстан, e-mail: askar@physics.kz*

СТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ С ЧАСТИЦАМИ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Аннотация. Целью исследования является определение статических характеристик пылевой компоненты плазмы и вычисление ее давления с последующим сравнением с результатами простейших аппроксимационных формул для режима сильной связи. Предполагается, что пылинки имеют конечный размер, а потенциал взаимодействия между ними получается из теории линейного диэлектрического отклика с диэлектрической функцией плазмы в приближении хаотических фаз. Радиальные функции распределения и статические структурные факторы пылевых частиц получены решением уравнения Орнштейна-Цернике в так называемом базовом гиперцепном приближения, который органично включает в себя модель абсолютно твердых сфер, рассчитываемых с помощью соотношения Перкуса-Йевики. На кривых радиальных функций распределения и статических структурных факторов обнаружено появление максимумов и минимумов, свидетельствующих об образовании ближнего и дальнего порядка в расположении пылевых частиц. Проведены численные расчеты для давления пылевой компоненты в зависимости от параметра связи и обнаружено хорошее согласие с известными из литературы аналитическими формулами для относительно небольших значений плотностей упаковки системы.

Ключевые слова: пылевая плазма, потенциал взаимодействия, радиальные функции распределения, статические структурные факторы, уравнение состояния.

Введение

Физика пылевой плазмы имеет большое значение в современной физике плазмы, поскольку самые различные процессы, эффекты и явления определяют довольно сложное поведение твердых частиц макроскопического масштаба, называемых пылинками и погруженных в окружающую ионизированную среду. Это становится особенно очевидным, принимая во внимание тот факт, что пылевая плазма появляется при весьма разнообразных внешних условиях как в природе [1,2], так и в лабораториях [3,4]. Поэтому неудивительно, что в настоящее время используется весь аппарат теоретической физики и современные экспериментальные методы для всестороннего изучения пыли в плазме.

Исторически первым Ленгмюр [5] практически сразу заметил, что пылевые частицы легко поглощают электроны и ионы плазмы, тем самым приобретая довольно большой электрический заряд, который обычно оказывается отрицательным из-за большого отношения подвижностей элект-

тронов и ионов. Однако в ряде ситуаций, представляющих общий интерес, электронная эмиссия играет решающую роль, что случается, например, в планетарных условиях [6,7]. Другим практически важным примером является пристеночный слой в токамаках [8,9], когда термоэлектронное излучение приводит к положительному заряду пылевых частиц, возникающих в результате взаимодействия плазмы со стенкой.

В настоящее время известно, что электрический заряд пылевых частиц является самой важной характеристикой, которая регулирует их поведение при различных обстоятельствах. До недавнего времени было предложено лишь несколько методов теоретического описания положительного электрического заряда пылинок. Самый простой и доступный подход известен как приближение ограниченного орбитального движения (OML) [10,11], которое исключительно применимо к пылевым частицам, значительно меньшим по размеру, чем дебаевский радиус экранирования. Строго говоря, приближение OML выполняется для очень раз-

реженной бесстолкновительной плазмы, когда траектории частиц плазмы можно считать практически баллистическими. Когда размер пылинок растет и становится сравним с длиной экранирования, применяется модифицированный метод ограниченного орбитального движения (MOML) [12], который рассматривает поглощение электронов на границе плазменной оболочки, а не на поверхности пылевой частицы. Для учета отклонений функции распределения от ее равновесного значения представляется более надежным использование так называемой теории орбитального движения (ОМ) [13], которая опирается на уравнение Пуассона и кинетическое уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы. Однако с увеличением плотности плазмы роль столкновений резко возрастает, так что траектории электронов больше нельзя рассматривать как баллистические, и соответствующий интеграл столкновений следует ввести в кинетическое уравнение, которое затем решается феноменологически [14] или в рамках моделирования методом частиц в ячейках [15].

Большой электрический заряд пылевых частиц приводит к их сильному взаимодействию, так что наблюдается формирование упорядоченных структур в пылевой компоненте, то есть пылинки в пространстве расположены не хаотическим образом, а образуют некое подобие кристалла, который называется плазменным. Данное исследование и посвящено изучению образования таких структур и установлению их влияния на термодинамические характеристики пылевой компоненты.

Параметры плазмы.

В данной работе сильно связанная пылевая плазма рассматривается как однокомпонентная система, состоящая из макроскопических частиц конечных размеров. Будем считать, что пылевые частицы с концентрацией n_d представляют собой твердые шары радиуса R , несущие электрический заряд $Z_d e$ где Z_d – зарядовое число, а e – элементарный заряд.

Тогда пылевую компоненту можно охарактеризовать безразмерным параметром связи

$$\Gamma = \frac{Z_d^2 e^2}{a_d k_B T}, \quad (1)$$

где $a_d = (3/4\pi n_d)^{1/3}$ – среднее расстояние между пылевыми частицами, k_B – постоянная Больцмана, T – температура пылевой подсистемы.

Известно, что электрическое поле пылинок, помещенных в плазменную среду, экранируется с характерным размером, который называется радиусом Дебая r_D и полностью определяется свойствами окружающей среды. Для описания этого явления вводится безразмерный параметр экранирования

$$\kappa = \frac{a_d}{r_D}. \quad (2)$$

Конечность размеров пылевых частиц будем описывать плотностью упаковки, которая определяется следующим образом

$$\eta = \frac{4}{3} \pi n_d R^3. \quad (3)$$

Отметим, что плотность упаковки не может превысить теоретически предельного значения $\sqrt{2}\pi/6$, соответствующего наиболее компактному расположению шаров одинакового радиуса в пространстве.

Потенциал взаимодействия частиц.

Для определения свойств пылевой компоненты крайне важно знать потенциал взаимодействия пылевых частиц который в настоящем исследовании учитывает экранировку поля окружающей плазмы и конечность размеров самих пылинок [16]

$$\varphi(r) = \frac{Z_d^2 e^2}{r + 2R} - \frac{Z_d^2 e^2}{r} [1 - \exp(-k_D r) - 2k_D R B(r)], \quad (4)$$

где

$$B(r) = \exp(k_D (2R + r)) \text{Ei}(k_D (2R + r)) - \exp(k_D (2R - r)) \text{Ei}(2k_D R) + \exp(-k_D (2R + r)) [\text{Ei}(2k_D R) - \text{Ei}(-k_D (2R + r))] \quad (5)$$

с экспоненциальной интегральной функцией

$$Ei(x) = \int_x^\infty \frac{\exp(-t)}{t} dt \quad \text{и волновым числом}$$

экранирования $k_D = r_D^{-1}$

Рассмотрим два интересных предельных случая для потенциала взаимодействия между пылинками (4). В случае очень малых пылевых частиц $k_D R \rightarrow 0$, когда их можно считать практически точечными, потенциал взаимодействия переходит в широко применяемый потенциал Юкавы

$$\varphi(r) = \frac{Z_d^2 e^2}{r} \exp(-k_D r) \quad (6)$$

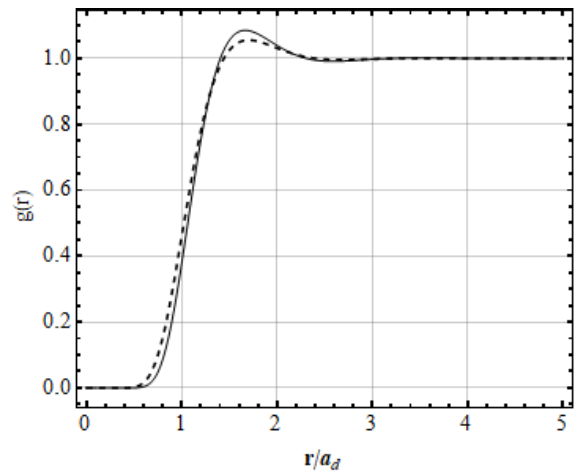
Другой предельный случай соответствует очень большим пылевым частицам $k_D R \gg 1$ и приводит к выражению

$$\varphi(r) = \frac{4Z_d^2 e^2 R}{k_D^2 r (r + 2R)^3} - \frac{Z_d^2 e^2}{2k_D^2 R^2 r} \exp(-k_D r) \quad (7)$$

Интересно отметить, что экспоненциальный характер спада потенциала взаимодействия для малых пылевых частиц в формуле (6) фактически сменяется обратным степенным законом для больших пылевых частиц, о чем свидетельствует первый член в формуле (7).

Статические свойства пылевой компоненты.

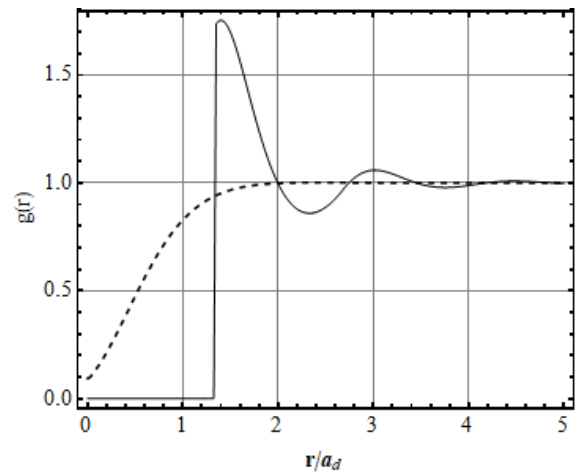
С помощью потенциала (4) было исследовано поведение радиальных функций распределения в рамках метода базового гиперцепного приближения (RHNC) [17,18], который представляет собой фактическую реализацию уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении, так что в нем органично учитывается конечность размера пылинок путем решения интегрального уравнения Перкуса-Йевики для модели твердых сфер. Результаты проведения вычислений представлены на рисунках 1-4, на которых также показано сравнение с обычным методом Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении (HNC), который справедлив для частиц точечных размеров.



$$\Gamma = 10; \kappa = 1; \eta = 10^{-4}$$

Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)

Рисунок 1 – Радиальные функции распределения, рассчитанные разными методами



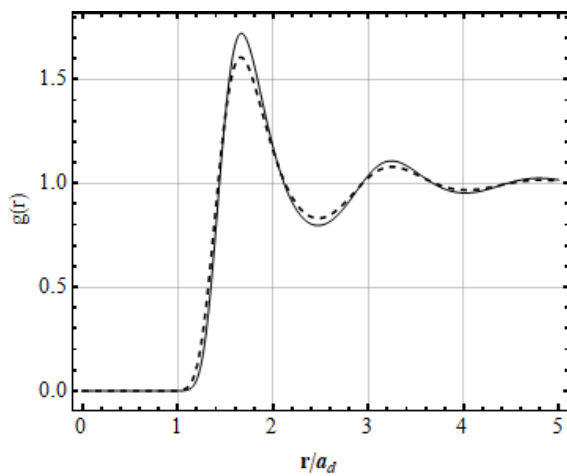
$$\Gamma = 10; \kappa = 1; \eta = 0.3$$

Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)

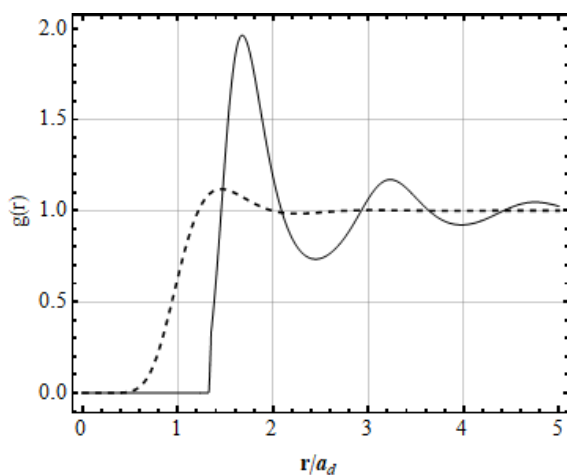
Рисунок 2 – Радиальные функции распределения, рассчитанные разными методами

Анализ полученных графических данных позволяет сделать следующие выводы. При не слишком больших плотностях упаковки оба использованных метода дают практически совпадающие результаты. При этом величина первого пика на радиальной функции распределения в приближении RHNC резко возрастает с увеличением плотности упаковки, а сам он располагается значительно правее такого же пика в приближении HNC. Это свидетельствует о необходимости корректного и последовательного учета размера пылевых частиц. При малых параметрах связи и плотности упаковки примененные методы практически не различаются, тогда как при больших –

наблюдаются сильные различия, которые могут быть проверены с помощью моделирования.

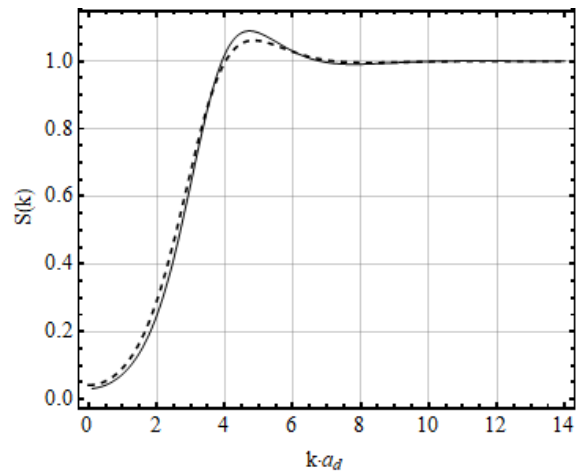


$\Gamma = 100; \kappa = 1; \eta = 10^{-4}$
 Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)
 Рисунок 3 – Радиальные функции распределения, рассчитанные разными методами

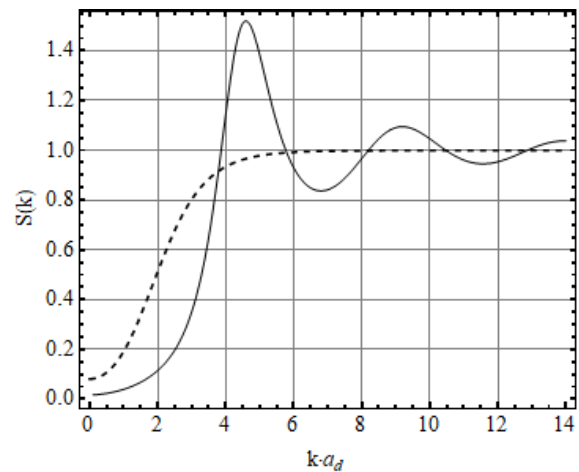


$\Gamma = 100; \kappa = 1; \eta = 0.3$
 Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)
 Рисунок 4 – Радиальные функции распределения, рассчитанные разными методами

На рисунках 5-8 показаны соответствующие графики для статических структурных факторов, которые имеют большое значение для определения динамических характеристик пылевой компоненты в рамках метода моментов.



$\Gamma = 10; \kappa = 1; \eta = 10^{-4}$
 Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)
 Рисунок 5 – Статические структурные факторы, рассчитанные разными методами



$\Gamma = 10; \kappa = 1; \eta = 0.3$
 Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)
 Рисунок 6 – Статические структурные факторы, рассчитанные разными методами

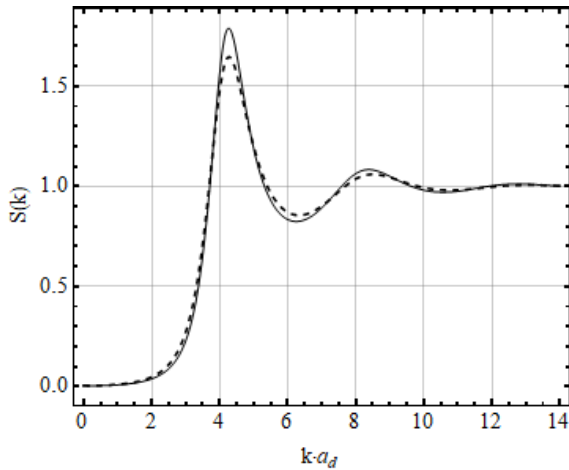
Одной из наиболее важных термодинамических функций системы является ее уравнение состояния, то есть зависимость давления P от температуры среды T и ее объема V . Удобно выразить давление пылевой компоненты в безразмерных единицах избыточного давления, которое имеет вид

$$p_{ex} = \frac{P}{n_d k_B T} - 1. \quad (8)$$

Статистическая теория систем, состоящих из большого числа частиц, позволяет получить следующее выражение для избыточного давления

$$p_{ex} = \frac{2\pi n_d}{3k_B T} \int_0^\infty r^3 \varphi'(r) g(r) dr, \quad (10)$$

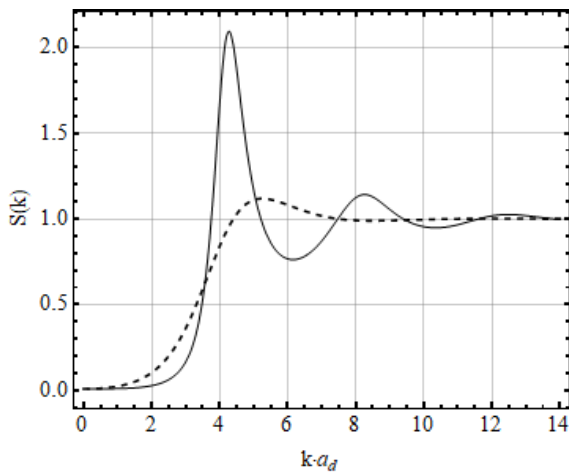
где $\varphi(r)$ – определенный на предыдущих этапах потенциал взаимодействия пылевых частиц.



$\Gamma = 100; \kappa = 1; \eta = 10^{-4}$

Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)

Рисунок 7 – Статические структурные факторы, рассчитанные разными методами

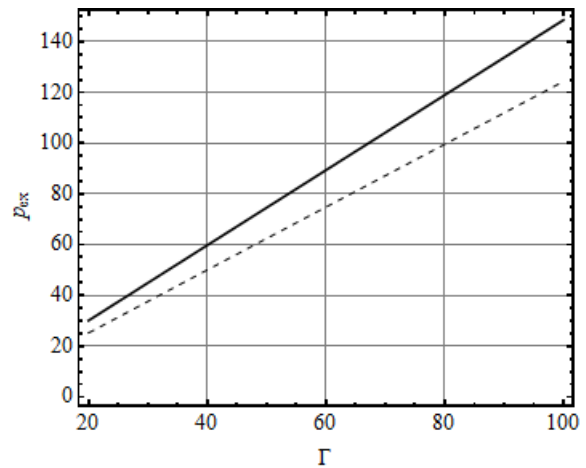


$\Gamma = 100; \kappa = 1; \eta = 0.3$

Сплошная линия: RHNC с потенциалом (4); штриховая линия: HNC с потенциалом Юкавы (6)

Рисунок 8 – Статические структурные факторы, рассчитанные разными методами

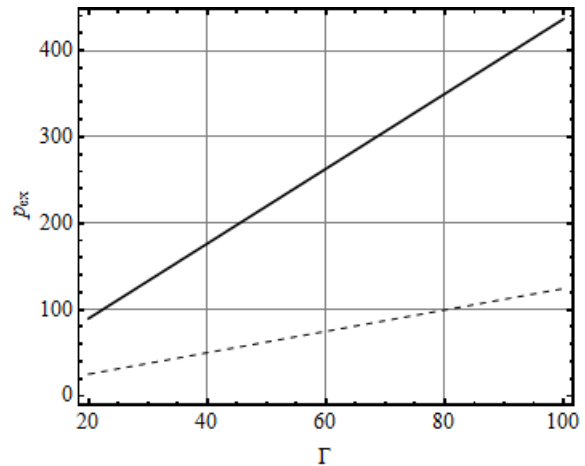
На рисунках 9 и 10 показана зависимость избыточного давления пылевой компоненты плазмы в зависимости от параметра связи при фиксированных значениях параметров экранировки и плотности упаковки.



$\kappa = 1; \eta = 10^{-4}$

Штриховая линия: [4,5]; сплошная линия: RHNC с потенциалом (4)

Рисунок 9 – Избыточное давление пылевой компоненты в зависимости от Γ



$\kappa = 1; \eta = 0.3$

Штриховая линия: [4,5]; сплошная линия: RHNC с потенциалом (4)

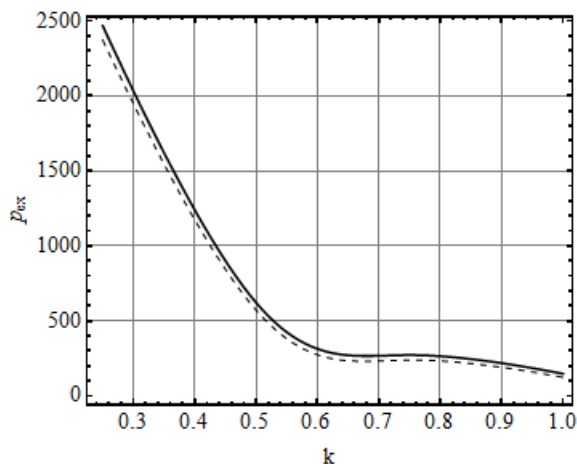
Рисунок 10 – Избыточное давление пылевой компоненты в зависимости от Γ

Физически очевидно, что избыточное давление растет с увеличением параметра связи, так как оно фактически определяется взаимодействием между частицами. При этом с ростом параметра плотности упаковки, который приводит к повышению избыточного давления, видна необходимость учета конечности размеров пылевых частиц.

На рисунках 11 и 12 представлена зависимость избыточного давления от параметра экранирования при фиксированных значениях плотности упаковки и параметра связи.

Видно, что различие с известными аналитическими аппроксимациями для избыточного давления незначительно, однако с ростом плотности числа частиц и их раз-

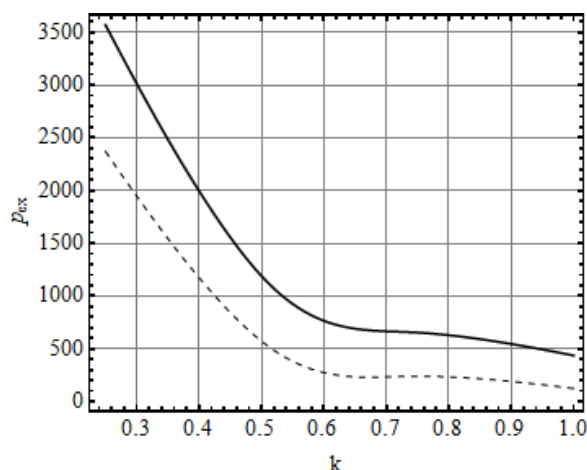
мера вклад конечности размера пылевых частиц в термодинамические характеристики становится существенным.



$$\Gamma = 100; \eta = 10^{-4}$$

Штриховая линия: [4,5]; сплошная линия: RHNC с потенциалом (4)

Рисунок 11 – Избыточное давление пылевой компоненты в зависимости от κ



$$\Gamma = 100; \eta = 0.3$$

Штриховая линия: [4,5]; сплошная линия: RHNC с потенциалом (4)

Рисунок 12 – Избыточное давление пылевой компоненты в зависимости от κ

Из рисунков можно в общем заключить, что избыточное давление пылевой компоненты плазмы падает как с ростом параметра связи, так и с увеличением параметра экранирования.

Заключение

В данной работе исследованы статические свойства пылевой компоненты плазмы, которая имеет конечные размеры. В качестве потенциала взаимодействия пылинок выбиралась предложенная ранее модель, ко-

торая была получена из теории линейного диэлектрического отклика, а полная диэлектрическая функция плазменной среды рассчитывалась в приближении хаотических фаз. Рассмотрены предельные случаи взаимодействия частиц очень малых и очень больших, по сравнению с радиусом Дебая частиц, размеров, при этом экспоненциальный характер спада с расстоянием меняется на обратный степенной.

Радиальные функции распределения и статические структурные факторы пылевых частиц рассчитывались в рамках базового гиперцепного приближения, которое идеально подходит для систем твердых заряженных шаров одинакового размера. С увеличением параметра связи и плотности упаковки на кривых статических структурных факторов и радиальных функций распределения появляются локальные максимумы и минимумы, свидетельствующие об образовании ближнего и дальнего порядка в расположении пылевых частиц друг относительно друга. С другой стороны сравнение с результатами для точечных частиц показывает, что размером пылинок нельзя пренебрегать в случае режима сильной связи.

Определено уравнение состояния пылевой компоненты, которое представляет собой зависимость избыточного давления от параметров системы. Сравнение с известными результатами аппроксимационных формул показывает хорошее согласие для достаточно малых значений плотностей упаковки.

Полученные статические характеристики позволят в будущем изучить динамические свойства пылевой компоненты в рамках метода моментов.

Благодарности

Данная работа выполнена в рамках программы целевого финансирования МОН РК BR05236730.

Список литературы

1. Chai K.V., Bellan P. M., Formation and alignment of elongated, fractal-like water-ice grains in extremely cold, weakly ionized plasma // *Astrophys. J.* – 2015. – Vol. 802. – Art. No. 112 (11 p.).

2. Nourry S., Krim L., The chemical stability of CH₃OH on cold interstellar grains: heat-induced dehydrogenation processes of methanol // *MNRAS* – 2015. – Vol. 452. – P. 3319-3333.
3. Bacharis M., Coppins M., Allen J. E., Critical issues for modeling dust transport in tokamaks // *Phys. Rev. E* – 2010. – Vol. 82. – Art. No. 026403 (5 p.).
4. Vaverka J., Richterova I., Vysinka M., Pavlu J., Safrakova J., Nemecek Z., The influence of secondary electron emission on the floating potential of tokamak-born dust // *Plasma Phys. Control. Fusion* – 2014. – Vol. 56. – Art. No. 025001 (11 p.).
5. Mott-Smith H., Langmuir I., The Theory of Collectors in Gaseous Discharges // *Phys. Rev.* – 1926. – Vol. 28. – P. 727-763.
6. Copnin S. I., Kosarev I. N., Popel S. I., Yu M. Y., Localized structures of nanosize charged dust grains in Earth's middle atmosphere // *Planet. Space Sci.* – 2004. – Vol. 52. – P. 1187-1194.
7. Fujii Y. I., Okuzumi S., Inutsuka S.-I., A fast and accurate calculation scheme for ionization degrees in protoplanetary and circumplanetary disks with charged dust grains // *Astrophys. J.* – 2011. – Vol. 743. – Art. No. 53 (9 p.).
8. Bacharis M., Coppins M., Allen J. E., Dust in tokamaks: An overview of the physical model of the dust in tokamaks code // *Phys. Plasmas* – 2010. – Vol. 17. – Art. No. 042505 (11 p.).
9. Tolia P., Raatynskaia S., de Angeli M., de Temmerman G., Ripamonti D., Riva G., Bykov I., Shalpegin A., Vignitchouk L., Brochard F., Bystrov K., Bardin S., Litnovsky A., Dust remobilization in fusion plasmas under steady state conditions // *Plasma Phys. Control. Fusion* – 2016. – Vol. 58. – Art. No. 025009 (16 p.).
10. Khrapak S. A., Nefedov A. P., Petrov O. F., Vaulina O. S., Dynamical properties of random charge fluctuations in a dusty plasma with different charging mechanisms // *Phys. Rev. E* – 1999. – Vol. 59. – P. 6017-6022.
11. Autricque A., Khrapak S. A., Couedel L., Fedorczak N., Amas C., Layet J.-M., Grisolia C., Electron collection and thermionic emission from a spherical dust grain in the space-charge limited regime // *Phys. Plasmas* – 2018. – Vol. 25. – Art. No. 063701 (9 p.).
12. Bacharis M., Floating potential of large dust grains with electron emission // *Phys. Plasmas* – 2014. – Vol. 21. – Art. No. 074501 (4 p.).
13. de Angelis U., Forlani A., Grain charge in dusty plasmas // *Phys. Plasmas* – 1998. – Vol. 5. – P. 3068-3069.
14. Vishnyakov V. I., Charging of dust in thermal collisional plasmas // *Phys. Rev. E* – 2012. – Vol. 85. – Art. No. 026402 (6 p.).
15. Delzanno G. L., Tang X.-Z., Charging and Heat Collection by a Positively Charged Dust Grain in a Plasma // *Phys. Rev. Lett.* – 2014. – Vol. 113. – Art. No. 035002 (5 p.).
16. Davletov A.E., Arkhipov Yu.V., Tkachenko I.M. Electric charge of dust particles in a plasma // *Contrib. Plasma Phys.* – 2016. – Vol. 56. – P. 308-320.
17. Lado F. Perturbation Correction for the Free Energy and Structure of Simple Fluids // *Phys. Rev. A* – 1973. – Vol. 8. – P. 2548-2552.
18. Lado F. Charged hard spheres in a uniform neutralizing background using 'mixed' integral equations // *Mol. Phys.* – 1976. – Vol. 31. – P. 1117-1127.
19. Khrapak S.A., Khrapak A.G., Ivlev A.V., Morfill G.E. Simple estimation of thermodynamic properties of Yukawa systems // *Phys. Rev. E* – 2014. – Vol. 89. – P. 023102 (8 p.).
20. Kharapak S.A., Thomas H.M. Simple estimation of thermodynamic properties of Yukawa systems // *Phys. Rev. E* – 2015. – Vol. 91. – P. 023108 (5 p.).

Принято к печати 17.09.2018

**А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, Ю.В. Архипов, Е.С. Мухаметкаримов,
А. Кисан, С. Момынов**

*Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы,
Республика Казахстан, e-mail: askar@physics.kz*

СТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ С ЧАСТИЦАМИ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Аннотация. Целью исследования является определение статических характеристик пылевой компоненты плазмы и вычисление ее давления с последующим сравнением с результатами простейших аппроксимационных формул для режима сильной связи. Предполагается, что пылинки имеют конечный размер, а потенциал взаимодействия между ними получается из теории линейного диэлектрического отклика с диэлектрической функцией плазмы в приближении хаотических фаз. Радиальные функции распределения и статические структурные факторы пылевых частиц получены решением уравнения Орнштейна-Цернике в так называемом базовом гиперцепном приближения, который органично включает в себя модель абсолютно твердых сфер, рассчитываемых с помощью соотношения Перкуса-Йевики. На кривых радиальных функций распределения и статических структурных факторов обнаружено появление максимумов и минимумов, свидетельствующих об образовании ближнего и дальнего порядка в расположении пылевых частиц. Проведены численные расчеты для давления пылевой компоненты в зависимости от параметра связи и обнаружено хорошее согласие с известными из литературы аналитическими формулами для относительно небольших значений плотностей упаковки системы.

Ключевые слова: пылевая плазма, потенциал взаимодействия, радиальные функции распределения, статические структурные факторы, уравнение состояния.

**А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, Ю.В. Архипов, Е.С. Мухаметкаримов,
А. Кисан, С. Момынов**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, қ. Алматы,
Қазақстан Республикасы, e-mail: askar@physics.kz*

БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ӨЛШЕМІ ШЕКТЕУЛІТОЗАНДЫПЛАЗМАНЫҢСТАТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аннотация. Аталмыш жұмыстың мақсаты плазманың тозаңды компонентінің статикалық сипаттарын анықтау және оның қысымын есепту, сондай-ақ, тығыз байланысқан режимге арналған қарапайым жуықтау формулаларының нәтижелерімен салыстыру. Тозаңды бөлшектердің өлшемі шектеулі деп саналады, ал олардың арасындағы өзара әсерлесу потенциалы хаостық фаза жуықтауындағы плазманың диэлектрлік функциясын қолдану арқылы сызықтық диэлектрлік үндестік теориясынан алынады. Тозаң бөлшектердің радиалды таралу функциялары мен статикалық құрылымдық факторлары негізгі гипертізбекті жуықтау деп аталатын Орнштейн-Цернике теңдеуін шешу арқылы анықталады. Бұл теңдеу Перкус-Йевик қатынасымен есептелетін абсолютті қатты сфералардың моделін қамтиды. Радиалды таралу функциялары мен статикалық құрылымдық факторлардың қисықтарында пайда болған максимум және минимумдар тозаң бөлшектердің орналасуындағы жақын және алыс реттіліктердің түзілуін айғақтайды. Тозаңды компонент қысымының байланыс параметріне тәуелдігі сандық түрде есептелді. Алынған нәтижелердің әдебиеттерден белгілі салыстырмалы түрде аз тығыздықты жүйеге арналған аналитикалық формулалармен жақсы сәйкесетіні анықталды.

Түйін сөздер: тозаңды плазма, радиалды таралу функциясы, статикалық құрылымдық фактор, күй теңдеуі.

A.E. Davletov, L.T. Yerimbetova, Yu.V. Arkhipov, Ye.S. Mukhametkarimov,

A. Kissan, S. Momynov

*Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan, e-mail: askar@physics.kz*

STATIC PROPERTIES OF DUSTY PLASMAS WITH PARTICLES OF FINAL DIMENSIONS

Abstract. The aim of the present study is to determine the static characteristics of the dust component of plasmas and calculate its pressure, which is then compared with the results of the simplest approximation formulas for the strong coupling regime. It is assumed that the dust particles have a finite size, and the interaction potential between them is obtained from the theory of the linear dielectric response with the dielectric function of the plasma appropriate for the random phase approximation. Radial distribution function and static structure factor of dust particles are obtained by solving the Ornstein-Zernike equation in the so-called reference hypernetted chain approximation, which organically includes the model of hard solid spheres incorporated within the Percus-Yevik relation. Numerical calculations are performed for the pressure of the dust component depending on the coupling parameter, and good agreement is found with the analytical formulas, known from the literature and valid for relatively small values of the packing fractions of the system.

Keywords: dusty plasma, radial distribution function, static structural factor, equation of state.