

N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 86 – 91

**EFFECT OF MAGNETIC FIELD
ON THE OSCILLATIONS OF THE DUST PARTICLES**

K. N. Dzhumagulova¹, T. S. Ramazanov¹, R. U. Masheyeva¹, Z. Donkó²

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

²Institute for Solid State Physics and Optics, Wigner Research Centre of the Hungarian Academy of Sciences,
H-1525 Budapest, P.O. Box 49, Hungary.
E-mail: dzhumagulova.karlygash@gmail.ru

Key words: dusty plasma, velocity, autocorrelation functions, spectral function, Fourier transform.

Abstract. In this paper the results of theoretical investigations of dust particles fluctuations on the basis of Fourier analysis of the velocity autocorrelation function were presented. The method of molecular dynamics was used to solve the dust particles equations of motion. The Yukawa potential was used as an interaction potential. The results were obtained in a wide range of system parameters. The position of the dominant peak in the frequency spectrum of the velocity autocorrelation function confirms the onset of a joint effect of the magnetic field and strong correlations at high coupling.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОЛЕБАНИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

К. Н. Джумагулова¹, Т. С. Рамазанов¹, Р. У. Машеева¹, З. Донко²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Институт физики твердого тела и оптики, Вигнеровский исследовательский центр Академии наук Венгрии,
H-1525 Будапешт, Венгрия.

E-mail: dzhumagulova.karlygash@gmail.ru

Ключевые слова: пылевая плазма, автокорреляционная функция скоростей, спектральная функция, Фурье-преобразование.

Аннотация. В работе показаны результаты теоретических исследований колебаний пылевых частиц с помощью Фурье анализа автокорреляционных функции скоростей. В работе был использован метод молекулярной динамики. В качестве потенциала взаимодействия был взят потенциал Юкава. Результаты получены в широком диапазоне изменения параметров системы. Показано, что на положение доминирующего пика в спектральной функции автокорреляционных функций скоростей оказывают совместное влияние, как магнитное поле, так и сильные корреляции при больших связях.

Введение. В силу необходимости фундаментальных и теоретических исследований природных явлений и разновидности практических приложений пылевой плазмы непрерывно растет интерес к ее изучению. Сегодняшний интерес к пылевой плазме связан, прежде всего, с процессами самоорганизации и образования упорядоченных структур, так называемых плазменно-пылевых кристаллов. В последние годы влияние магнитного поля на сильно связанную пылевую плазму является одним из важных предметов исследования [1-5], например, влияние магнитного поля на распространение волн было изучено в работах [1].

Целью данной работы является исследование Фурье-преобразования автокорреляционных функций скоростей пылевых частиц, расположенных в двумерном слое и подвергающихся влиянию внешнего однородного магнитного поля, которое направлено перпендикулярно к слою пылевых частиц. Компьютерное моделирование движения пылевых частиц было проведено с помощью решения уравнений движения Ньютона в рамках взаимодействия Юкава.

Метод моделирования. Для исследования влияния магнитного поля на частицы плазмы сложного состава был использован метод молекулярной динамики. В качестве межчастичного потенциала взаимодействия частиц был взят потенциал Юкава:

$$\phi(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\exp(-r/\lambda_D)}{r}, \quad (1)$$

здесь Q – заряд частиц и λ_D – дебаевская длина экранировки, $\Gamma = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 a k_B T}$ – параметр связи,

T – температура, $\kappa = a/\lambda_D$ – коэффициент экранировки, $a = (1/\pi n)^{1/2}$ – двумерный радиус Вигнера-Зейтца и n – плотность частиц.

Для интегрирования уравнения движения частиц в присутствии магнитного поля использован метод, описанный в работе [6]. Число частиц $N = 4000$. Частицы двигаются в плоскости (x, y) и предполагается, что магнитное поле однородное и направлено перпендикулярно двумерному слою (2D) частиц, то есть $\vec{B} = (0, 0, B)$. Влияние магнитного поля на свойства системы выражается с помощью следующего параметра:

$$\beta = \frac{\omega_c}{\omega_p}, \quad (2)$$

где $\omega_c = QB/m$ – циклотронная и $\omega_p = \sqrt{nQ^2/2\epsilon ma}$ – 2D плазменная частота.

С помощью данных вычисления автокорреляционных функции скоростей частиц можно исследовать спектральную функцию пылевых частиц на основе Фурье-преобразования автокорреляторов скоростей следующим образом:

$$A_{vv}(\omega) = \int_0^{\infty} A_{vv}(t) e^{i\omega t} dt, \quad (3)$$

Результаты. Влияние внешнего магнитного поля на спектральную функцию автокорреляционных функций скоростей представлено на рисунке 1 при $\Gamma = 120$ и $k = 2$. В случае $\beta = 0$ спектральная функция имеет только один пик при $\omega / \omega_p \approx 0.48$. Данный пик, как известно, можно связать с продольными флюктуациями [7]. При $\beta > 0$ формирование магнетоплазмонов сдвигает пик на более высокие значения $\omega / \omega_p \approx 0.74$ (рисунок 1). Также мы наблюдали формирование маленького пика при $\omega / \omega_p \approx 0.5$ который соответствует циклотронной частоте пылевых частиц.

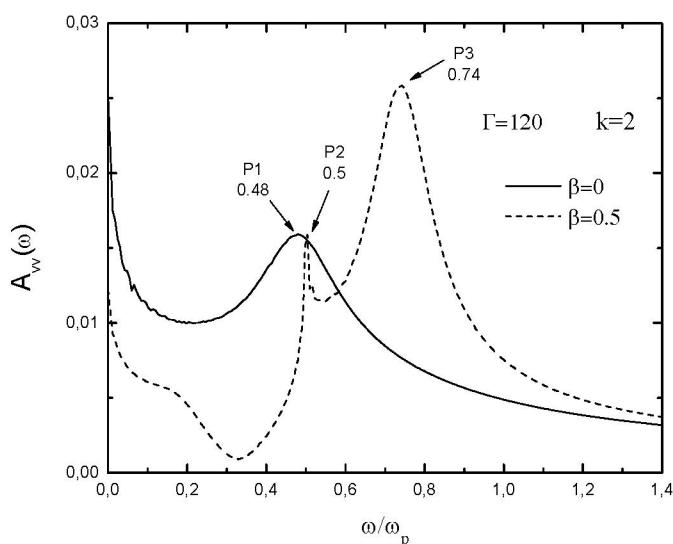


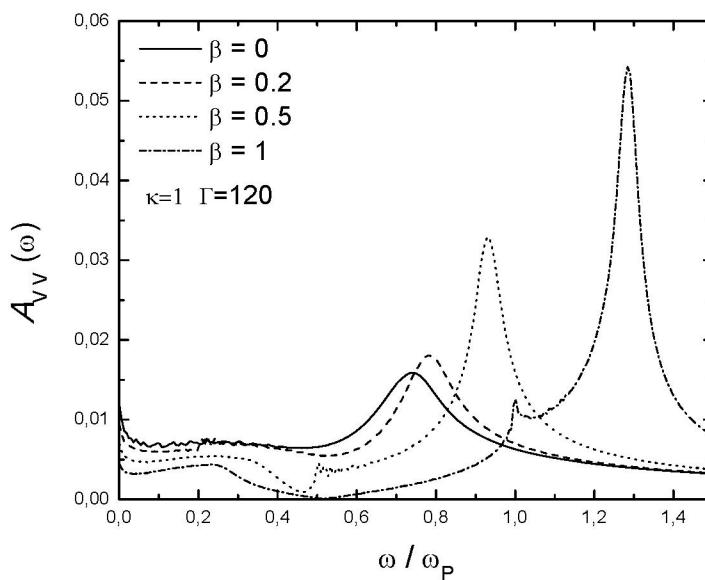
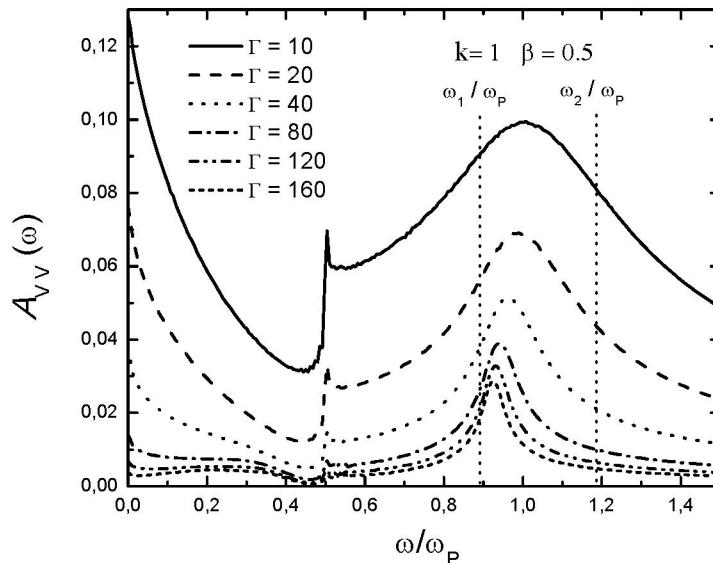
Рисунок 1 – Фурье-преобразование автокорреляционных функций скоростей при $\beta = 0$ и $\beta = 0.5$, для $\Gamma = 120$, $k = 2$

На рисунке 2 показаны соответствующие $A_{vv}(\omega)$ функции для разных значениях параметра магнитного поля при фиксированных значениях $\Gamma = 120$ и $k = 1$. Данные показывают, что доминирующие частоты увеличиваются с увеличением β . В работе [1] было показано что, при сильной связи в системе доминирующий пик продольного спектра колебаний принимает вид:

$$\omega_1^2 = \omega_c^2 + 2\omega_E^2 = \beta^2 \omega_p^2 + 2\omega_E^2, \quad (4)$$

где ω_E – частота Эйнштейна, который определяется как частота колебания пробной частицы в замороженной среде других частиц. При $k = 1$ получено $\omega_E \approx 0.52\omega_p$. Сравнения результатов теоретических данных, вычисленных по формуле (4) с положениями пиков, наблюдавшихся на рисунке 2, представлены в таблице I. Мы нашли очень хорошее согласие (только несколько % отклонения) между двумя наборами данных, которые подтверждают теоретические данные работы [1], в соответствии с которыми доминирующая частота колебаний образуется при совместном действии магнитного поля и сильной связи, увеличивая фундаментальную частоту выше циклотронной частоты $\omega_c = \beta\omega_p$.

Далее мы исследовали влияние сильной связи на Фурье-образ автокорреляционных функций скоростей частиц при фиксированном значении параметра магнитного поля $\beta = 0.5$. Эти резуль-

Рисунок 2 – Фурье-преобразование автокорреляционных функций скоростей при $\Gamma = 120$, $\kappa = 1$ и разных значениях β Рисунок 3 – Фурье-преобразование автокорреляционных функций скоростей при $\beta = 0.5$, $\kappa = 1$ и разных значениях параметра связи Γ

таты показаны на рисунке 3 для $\kappa = 1$. Данные показывают, что частотный спектр $A_{vv}(\omega)$ показывает сдвиг доминирующего пика вверх с уменьшением параметра Γ .

Соотношение (4) которое обсуждалось выше, справедливо только при больших связях. В пределе малых корреляции (слабо связанный предел плазмы, $\Gamma \rightarrow 0$) частота результирующей гибридной моды в намагниченной плазме (направление распространения перпендикулярно направлению магнитного поля) как известно, превращается в значения приближения случайных фаз (RPA) (детали см. [8]).

$$\omega_2^2 = \omega_c^2 + \omega_p^2 = \omega_p^2(\beta^2 + 1) \quad (5)$$

При $\beta = 0.5$ частота, определенная с помощью уравнения (5), есть $\omega_2 \approx 1.19\omega_p$. Это значение не было достигнуто с помощью данных нашего моделирования с уменьшением связи, из-за значительного расширения спектральной частоты, как отмечено на рисунке 3 для $\Gamma = 10$, $\kappa = 2$, $\beta = 0.5$.

Зависимость частоты доминирующего пика $A_{vv}(\omega)$ для $\Gamma = 120$, $\kappa = 1$

β	ω / ω_p	Теоретический ω_1 / ω_p , (7) уравнение
0	0.74	0.74
0.2	0.78	0.76
0.5	0.92	0.89
1.0	1.28	1.24

Здесь магнетоплазмоны становятся сдва заметными при уменьшении волновых чисел, где спектр колебаний практически ровный.

Заключение. Было исследовано влияние внешнего магнитного поля на Фурье-образ автокорреляционных функций скоростей частиц в двумерной сильно связанный системе Юкава с помощью численных методов. Показано, что, доминирующий пик в $A_{vv}(\omega)$, связанный с продольными колебаниями тока в жидкости, появляется при больших значениях параметра связи и при частотах, которые определяются путем совместного эффекта магнитного поля и сильной связи в системе [1]. С уменьшением параметра связи положение пика сдвинуто к RPA пределу, который не был достигнут нами за счет увеличения ширины пика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bonitz M., Donkó Z., Ott T., Kähler H., Hartmann P. // Phys. Rev. Lett. – 2010. – Vol. 105. – P. 055002.
- [2] Hartmann P., Donkó Z., Ott T., Kähler H., Bonitz M. // Phys. Rev. Lett. – 2013. – Vol. 111. – P. 155002.
- [3] Ott T., M. Bonitz, Hartmann P., Donkó Z. // Phys. Rev. E. – 2011. – Vol. 83. – P. 046403.
- [4] Ott T., Kähler H., Reynolds A., Bonitz M. // Phys. Rev. Lett. – 2012. – Vol. 108. – P. 255002.
- [5] Ott T., Baiko D.A., Kähler H., Bonitz M. // Phys. Rev. E. – 2013. – Vol. 87. – P. 043102.
- [6] Uchida G., Konopka U., Morfill G. // Phys. Rev. Lett. – 2004. – Vol. 93. – P. 155002.
- [7] Farokhi B., Shahmansouri M., Shukla P.K. // Phys. Plasmas. – 2009. – Vol. 16. – P. 063703
- [8] Jiang K., Song Y.-H., Wang Y.-N. // Phys. Plasmas. – 2007. – Vol. 14. – P. 103708.
- [9] Ott T., Bonitz M. // Phys. Rev. Lett. – 2011. – Vol. 107. – P. 135003.
- [10] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U. // Physics of Plasmas. – 2013. – Vol. 20, №11. – P. 113702 – 113704.
- [11] Spreiter Q., Walter M. // Journal of Computational Physics. – 1999. – Vol. 152. – P. 102–119.
- [12] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U., Ussenov Y.A., Dosbolayev M.K. // Contrib. Plasma Phys. – 2013. – Vol 53. – № 4 – 5. – P. 419 – 425.
- [13] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U. // Contr. Plasma Phys. - 2012. – Vol. 52, № 3. – P. 182 – 185
- [14] Ohta H., Hamaguchi S. // Phys. Plasmas. – 2000. – Vol. 7. – P. 4506.
- [15] Jiang K., Hou L.-J., Xu X., Wang Y.-N. // New J. Phys. – 2007 – Vol. 9. – P. 57.

REFERENCES

- [1] Bonitz M., Donkó Z., Ott T., Kähler H., Hartmann P. Phys. Rev. Lett. 2010. Vol. 105. P. 055002.
- [2] Hartmann P., Donkó Z., Ott T., Kähler H., Bonitz M. Phys. Rev. Lett. 2013. Vol. 111. P. 155002.
- [3] Ott T., M. Bonitz, Hartmann P., Donkó Z. Phys. Rev. E. 2011. Vol. 83. P. 046403.
- [4] Ott T., Kähler H., Reynolds A., Bonitz M. Phys. Rev. Lett. 2012. Vol. 108. P. 255002.
- [5] Ott T., Baiko D.A., Kähler H., Bonitz M. Phys. Rev. E. 2013. Vol. 87. P. 043102.
- [6] Uchida G., Konopka U., Morfill G. Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93. P. 155002.
- [7] Farokhi B., Shahmansouri M., Shukla P.K. Phys. Plasmas. 2009. Vol. 16. P. 063703
- [8] Jiang K., Song Y.-H., Wang Y.-N. Phys. Plasmas. 2007. Vol. 14. P. 103708.
- [9] Ott T., Bonitz M. Phys. Rev. Lett. 2011. Vol. 107. P. 135003.
- [10] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U. Physics of Plasmas. 2013. Vol. 20, №11. P. 113702 – 113704.
- [11] Spreiter Q., Walter M. Journal of Computational Physics. 1999. Vol. 152. P. 102–119.
- [12] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U., Ussenov Y.A., Dosbolayev M.K. Contrib. Plasma Phys. 2013. Vol 53, № 4–5. P. 419 – 425.
- [13] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Masheyeva R.U. Contr. Plasma Phys. 2012. Vol. 52, № 3. P. 182 – 185.
- [14] Ohta H., Hamaguchi S. Phys. Plasmas. 2000. Vol. 7. P. 4506.
- [15] Jiang K., Hou L.-J., Xu X., Wang Y.-N. New J. Phys. 2007. Vol. 9. P. 57.

ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ТЕРБЕЛІСТЕРИНЕ СЫРТҚЫ МАГНИТ ӨРІСІНІҢ ӘСЕРІ

Қ. Н. Жұмабұлова¹, Т. С. Рамазанов¹, Р. У. Машеева¹, З. Донко²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қатты дене және оптика физикасы институты, Венгрияның ғылым академиясының
Вигнер атындағы зерттеу орталығы, H-1525 Будапешт, Венгрия

Тірек сөздер: тозаңды плазма, жылдамдықтардың автокорреляциялық функциясы, спектрлік функция, Фурье-түрлендіру

Аннотация. Жұмыста жылдамдықтардың автокорреляциялық функциясын Фурье-түрлендіру арқылы, тозаңды бөлшектердің тербелістерін теориялық түрғыдан зерттеу нәтижелері көрсетілген. Есептеу барысында молекулалық динамика әдісі қолданылды. Әсерлесу потенциалы ретінде Юкава потенциалы қолданылды. Нәтижелер жүйенің параметрлерінің өзгерісінің кең аумағында алынған. Жылдамдықтардың автокорреляциялық функциясының спектрлік функциясындағы басым максимумның орналасуы бөлшектерге магнит өрісінің де, күшті байланыстың да бірдей әсер ететіндігін көрсетеді.

Поступила 25.02.2015 г.