

50-я научная конференция МФТИ
Факультет проблем физики и энергетики
Секция физики высоких плотностей энергии

УДК 533.9-15

*Адамович К.Г.^{1,2}, Ваулина О.С.², Стаценко К.Б.¹, Хрусталеv Ю.В.^{1,2},
Петров О.Ф.², Фортвов В.Е.²*

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Объединённый институт высоких температур РАН

**Применение формулы Грина-Кубо для изучения
процессов массопереноса в квазидвумерных
системах в пылевой плазме ВЧ-разряда**

Пылевая плазма — слабо ионизированный газ с содержащимися в нём частицами вещества микронных размеров (пылью). Коэффициент диффузии макрочастиц в пылевой плазме можно получить путём анализа теплового переноса частиц через единичную площадку в однородной среде при $t \rightarrow \infty$: $D = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t)$, где эволюция процесса массопереноса во времени $D(t)$ определяется следующим соотношением [1]:

$$D(t) = \langle \langle (\Delta x)^2 \rangle_N \rangle_t / (2t). \quad (1)$$

В случае малых отклонений исследуемой системы от состояния статистического равновесия коэффициент диффузии D частиц также описывается соотношением, которое является частным случаем формул Грина-Кубо [2]:

$$D_{G-K} = \int_0^{\infty} \langle V_x(0)V_x(t) \rangle dt,$$

где $\langle V_x(0)V_x(t) \rangle$ — автокорреляционная функция скоростей частиц $V_x = x/t$, измеренных вдоль одной оси, t — время. Для исследования эволюции процесса массопереноса $D_{G-K}(t)$ во времени интегрирование автокорреляционной функции скоростей частиц выполняется для конечного интервала времени:

$$D_{G-K}(t) = \int_0^t \langle V_x(0)V_x(\tau) \rangle d\tau. \quad (2)$$

Для жидких сред точное аналитическое соотношение для функции $D(t)$, описывающей эволюцию процессов массопереноса во времени, получить невозможно. Средний квадрат смещения частицы на одну степень свободы при воздействии некоторой

случайной силы можно найти из уравнения одномерного гармонического осциллятора [3, 4]. Функции эволюции массопереноса были получены в работе [4] из решений этого уравнения и соотношения (1) для двух случаев:

- 1) при отсутствии межчастичного взаимодействия и
- 2) для частиц в узлах кристаллической решётки (когда возвращающую силу, действующую на частицу, можно характеризовать некоторой частотой ω_c).

В данной работе эти функции были найдены для двух вышеупомянутых случаев из соотношения Грина–Кубо (2).

В работе использованы полученные из эксперимента среднеквадратичные смещения частиц; экспериментальные наблюдения проводились в высокочастотном разряде для различных значений параметров пылевой плазмы (размеров, концентрации и кинетической температуры пылевых частиц, давления буферного газа, эффективного параметра неидеальности Γ^* и пр.). Для регистрации макрочастиц использовалась высокоскоростная видеокамера, что позволило изучить поведение систем на малых временах наблюдения. Функция эволюции массопереноса была найдена по формуле Грина–Кубо (2), а также по среднему квадрату смещения макрочастиц (1). Результаты эксперимента сравнивались с аналитическими соотношениями для невзаимодействующих частиц и для частиц в решётке (рис. 1, 2). Сравнение результатов показало, что коэффициенты диффузии, полученные по данным формулам, совпадают в пределах погрешности ($\sim 5\text{--}7\%$), а поведение функций эволюции массопереноса ($D(t)$, $D_{G-K}(t)$) на малых временах наблюдения (при $t < 2/\omega_c$) соответствует их поведению для частиц в кристаллической решётке, имеющих характерную частоту колебаний ω_c . Похожий результат для функции $D(t)$ был получен при численном моделировании динамики систем Юкавы [4].

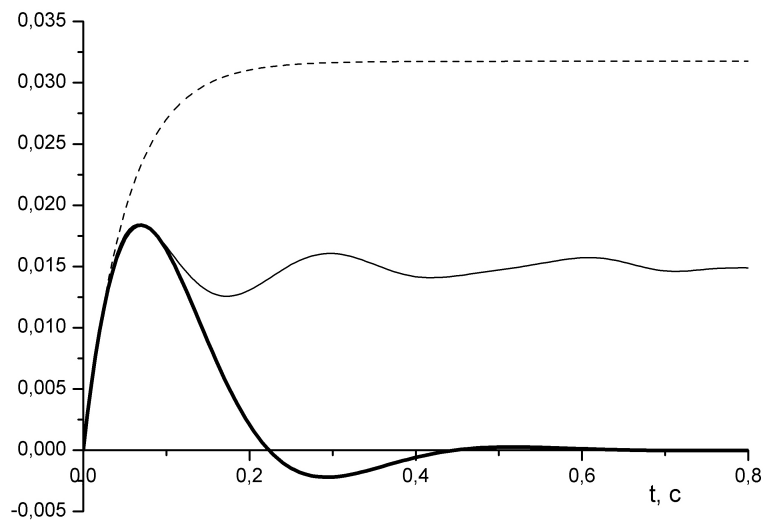


Рис. 1. Функция эволюции массопереноса $D(t)$, вычисленная по формуле Грина–Кубо, $\Gamma^* \approx 1$. Тонкая линия соответствует экспериментально полученным результатам; пунктирная — результаты, полученные в отсутствие межчастичного взаимодействия; жирная линия — решение задачи для гармонического осциллятора при $\omega_c = 10$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овчинников А.А., Тимашев С.Ф., Белый А.А.* Кинетика диффузионно- контролируемых химических процессов. — М.: Химия, 1986.
2. Photon Correlation and Light Beating Spectroscopy / Ed. by Cummins H.Z., Pike E.R. — New York: Plenum, 1974.
3. *Vaulina O.S., Vladimirov S.V.* // Plasma Phys. — 2002. — V. 9. — P. 835.
4. *Ваулina О.С., Петров О.Ф., Фортвов В.Е.* // ЖЭТФ. — 2005. — Т. 127. — С. 1153.

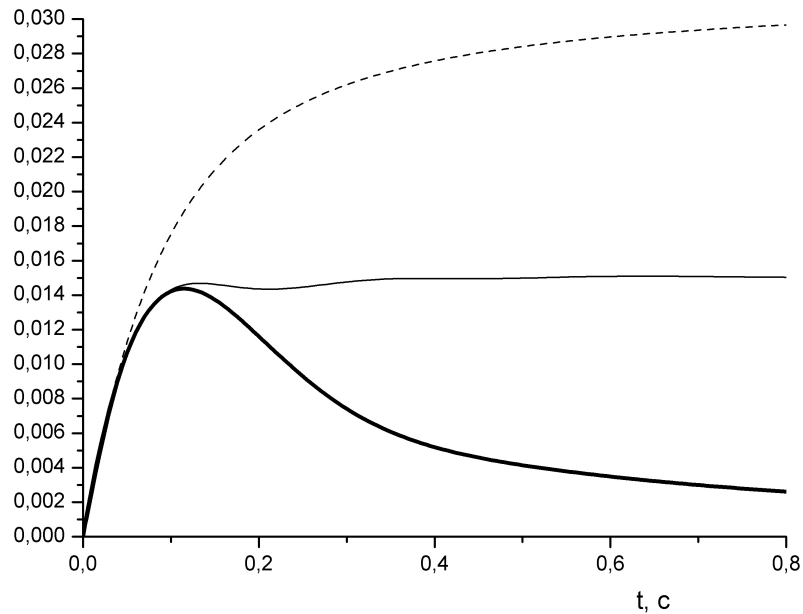


Рис. 2. Функция эволюции массопереноса $D(t)$, вычисленная по квадрату смещения частиц, $\Gamma^* \approx 1$. Тонкая линия соответствует экспериментально полученным результатам; пунктирная — результаты, полученные в отсутствие межчастичного взаимодействия; жирная линия — решение задачи для гармонического осциллятора при $\omega_c = 10$

Представленная выше версия доклада является ознакомительной.

Версию доклада, предназначенную для печати, можно найти в факультетском сборнике трудов конференции. Электронные материалы конференции публикуются по адресу http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen_sections/