

Методика определения параметров пылевой плазмы по функциям эволюции массопереноса

Адамович К.Г., Ваулина О.С., Хрусталев Ю.В.,
Гавриков А.В., Петров О.Ф.

Определение

коэффициента диффузии

$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t)$$

$$D(t) = \frac{\left\langle \left\langle \Delta x^2 \right\rangle_N \right\rangle_t}{2t}$$

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

Уравнения движения

макрочастиц

Без учета межчастичного взаимодействия:

$$M \frac{d^2 x_j}{dt^2} = -M v_{fr} \frac{dx_j}{dt} + 2M \left(\frac{dx_j}{dt} \right)^2 + 2x_j F_{ran}$$

Гармонический осциллятор:

$$M \frac{d^2 x_j}{dt^2} = -M v_{fr} \frac{dx_j}{dt} - 2M \omega_c^2 x_j + 2M \left(\frac{dx_j}{dt} \right)^2 + 2x_j F_{ran}$$

Функция эволюции

массопереноса*

Без учета межчастичного взаимодействия:

$$D(t) = D_0 \cdot \left\{ 1 - \frac{1 - \exp(-v_{fr} t)}{v_{fr} t} \right\} \quad D_0 = \frac{T}{m v_{fr}}$$

Гармонический осциллятор:

$$\frac{D(t)}{D_0} = \frac{1 - \exp\left(-\frac{v_{fr} t}{2}\right) \left(\operatorname{ch}\left(\frac{v_{fr} t \sqrt{1 - 8\xi^{*2}}}{2}\right) + \operatorname{sh}\left(\frac{v_{fr} t \sqrt{1 - 8\xi^{*2}}}{2}\right) / \sqrt{1 - 8\xi^{*2}} \right)}{2\xi^{*2} v_{fr} t}$$

*Ваулина О.С., Петров О.Ф., Фортов В.Е., ЖЭТФ 127, 1153 (2005)

Уравнения для автокорреляционной функции

Без учета межчастичного взаимодействия:

$$M \frac{d \langle V(0)V(t) \rangle}{dt} + M \nu_{fr} \langle V(0)V(t) \rangle = 0$$

Гармонический осциллятор:

$$M \frac{d^2 \langle V(0)V(t) \rangle}{dt^2} + M \nu_{fr} \frac{d \langle V(0)V(t) \rangle}{dt} + M \omega_c^2 \langle V(0)V(t) \rangle = 0$$

Автокорреляционная функция скоростей

Без учета межчастичного взаимодействия:

$$\langle V_x(0)V_x(t) \rangle = \frac{T}{M} \exp(-v_{fr}t)$$

Гармонический осциллятор:

$$\langle V(0)V(t) \rangle = \frac{T}{M} e^{-\frac{v_{fr}}{2}t} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{1-8\xi^{*2}}} \right) \exp\left(\frac{v_{fr}t}{2} \sqrt{1-8\xi^{*2}} \right) + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{1-8\xi^{*2}}} \right) \exp\left(-\frac{v_{fr}t}{2} \sqrt{1-8\xi^{*2}} \right) \right]$$

Функция эволюции

массопереноса: Грин-Кубо

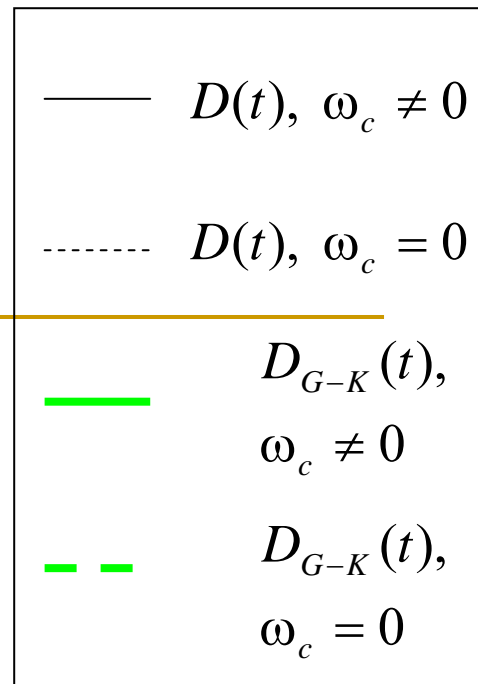
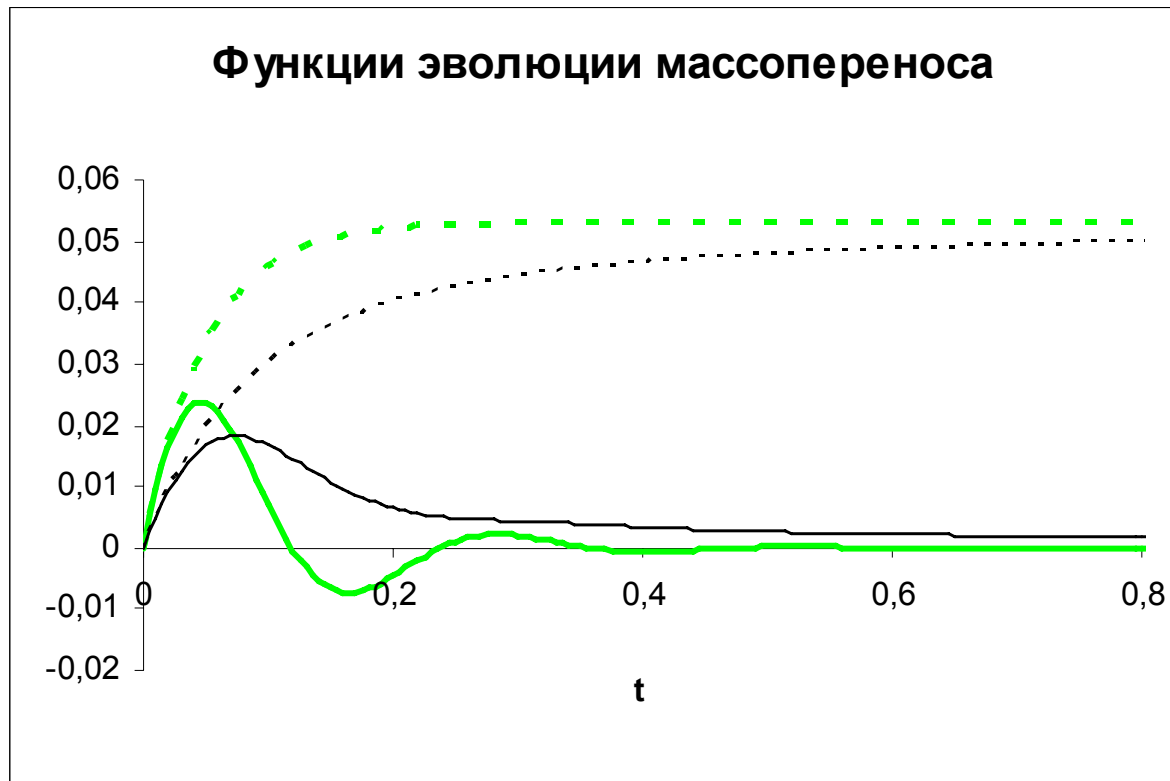
Без учета межчастичного взаимодействия:

$$D_{G-K}(t) = D_0 \left(1 - \exp(-v_{fr} t) \right)$$

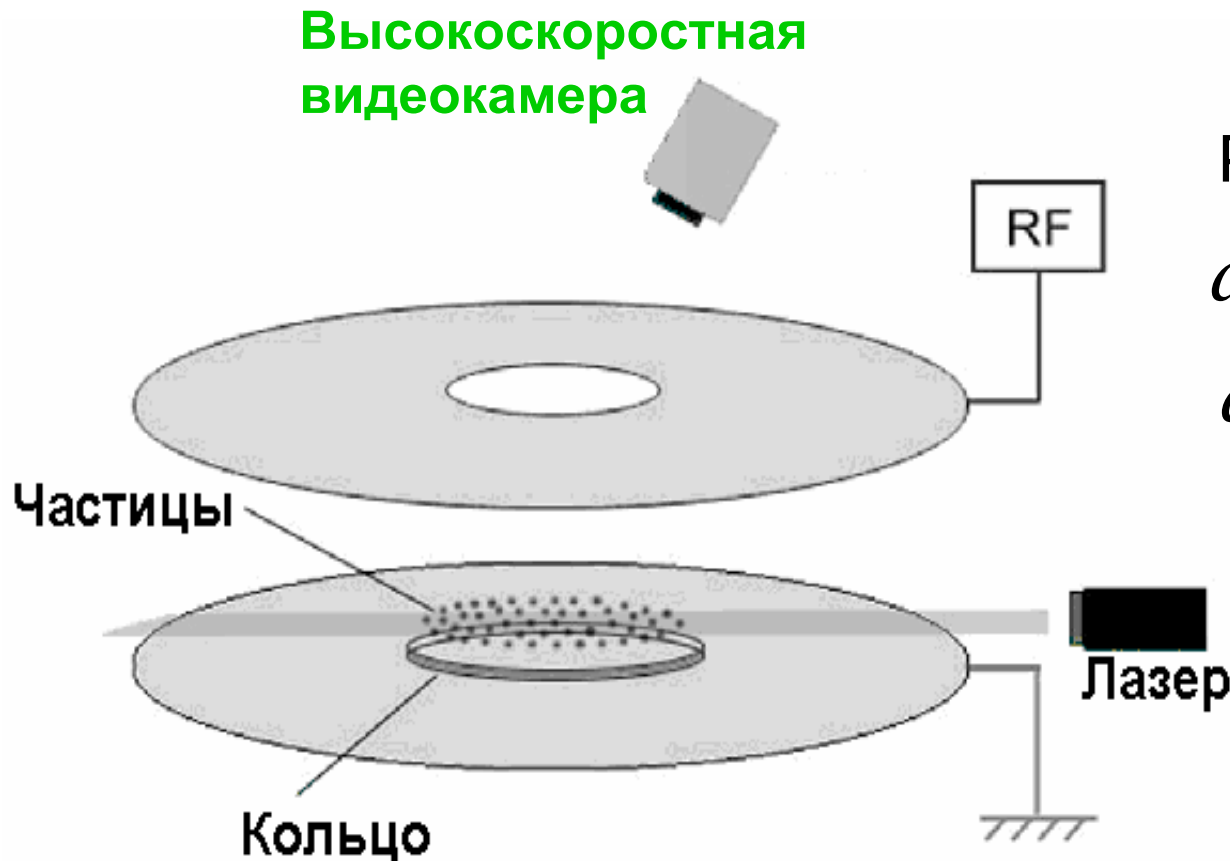
Гармонический осциллятор:

$$\frac{D_{G-K}(t)}{D_0} = \frac{2 \exp(-v_{fr} t / 2)}{\sqrt{1 - 8\xi^{*2}}} \cdot \text{sh} \left(\frac{v_{fr} t}{2} \sqrt{1 - 8\xi^{*2}} \right)$$

Аналитические функции



Эксперимент



Ar

$P \sim 5..30$ Па

$a_p = 2.755$ мкм

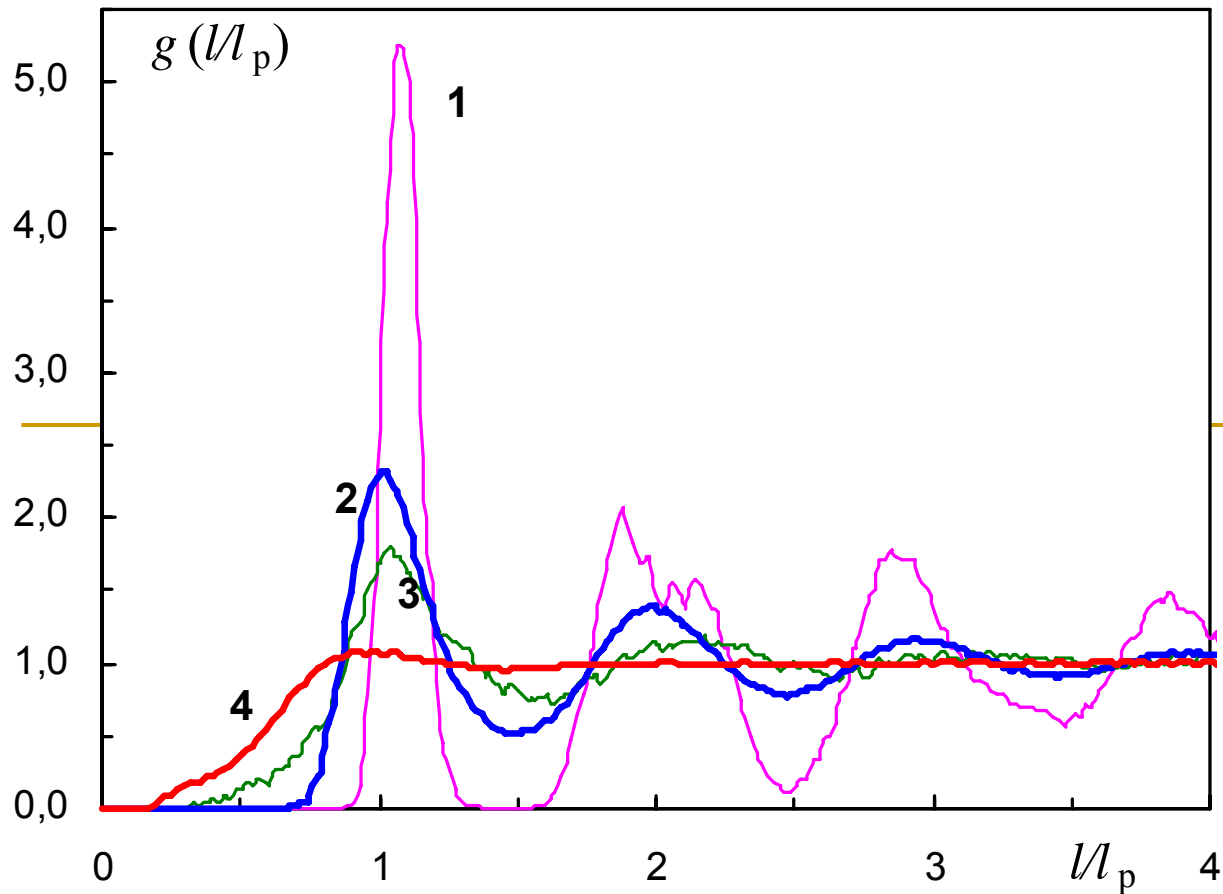
$a_p = 6.37$ мкм

$\Gamma^* \sim 1..300$

$$\Gamma^* \sim \frac{M\omega_c^2 l_p^2}{T}$$

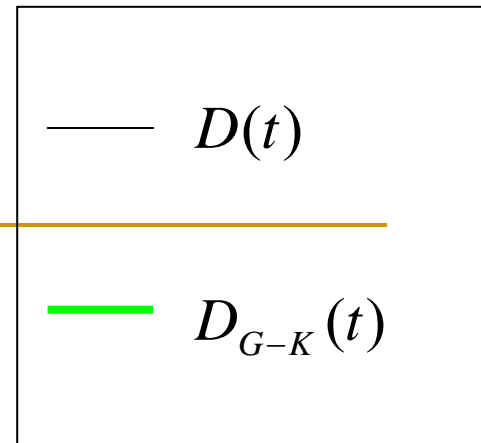
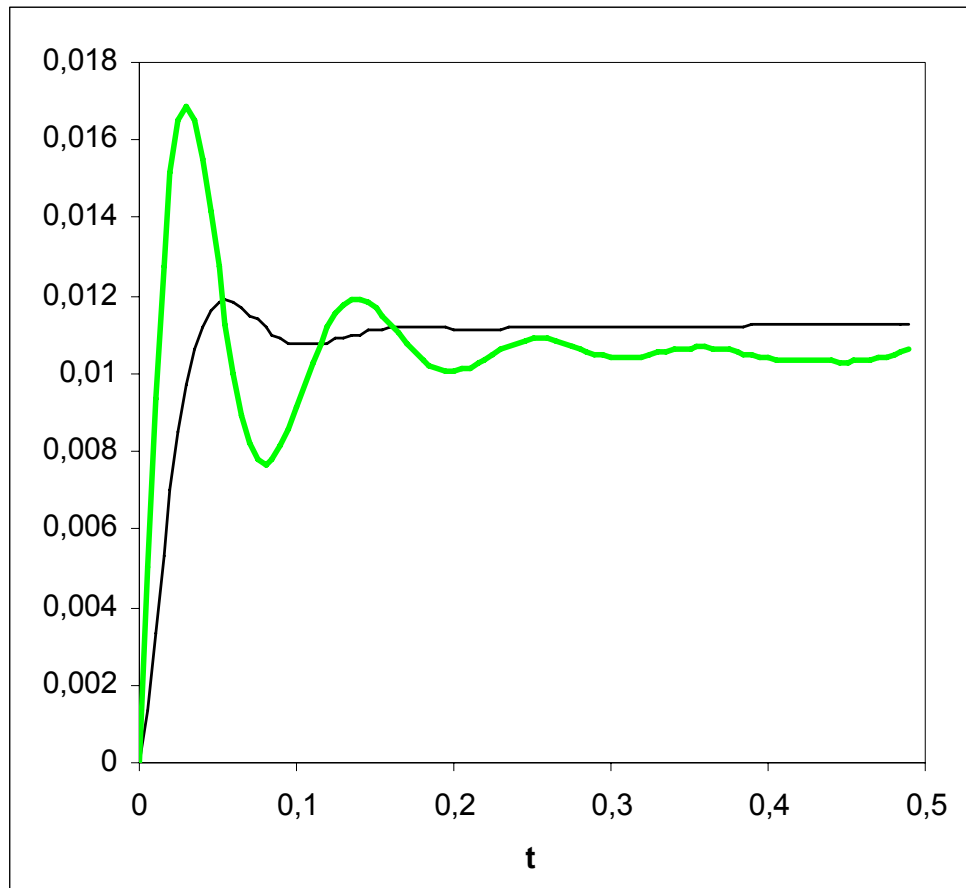
$T \sim 0.1..50$ эВ

Парные корреляционные функции

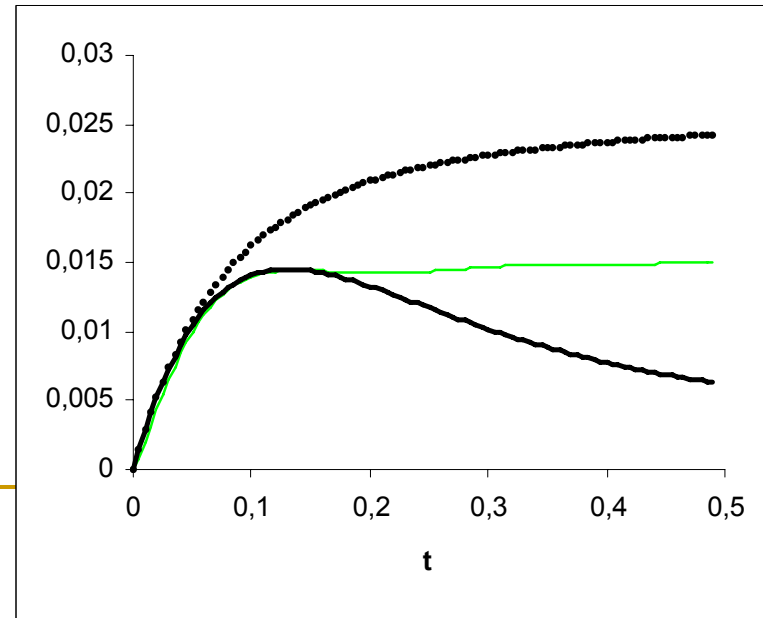
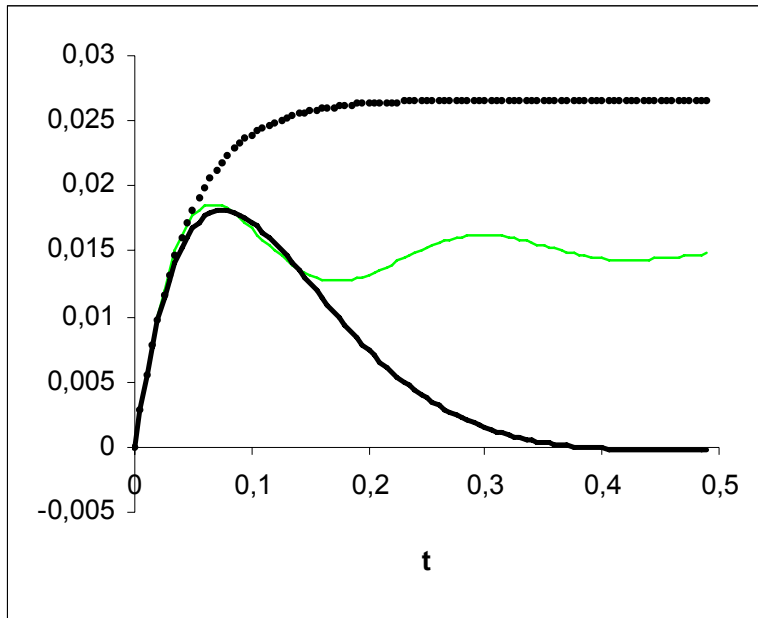


$$\Gamma^* \sim 1,$$

данные эксперимента

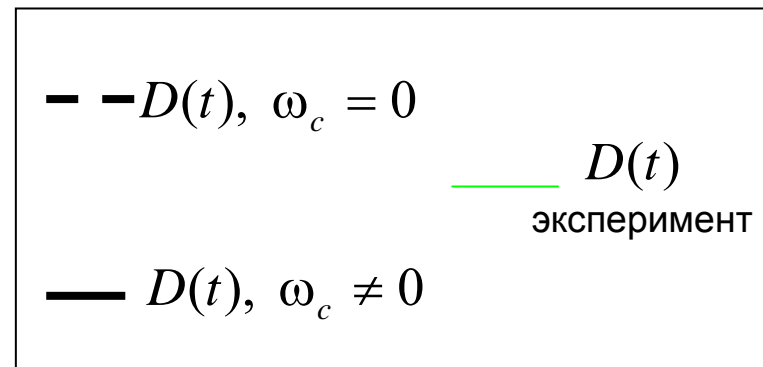
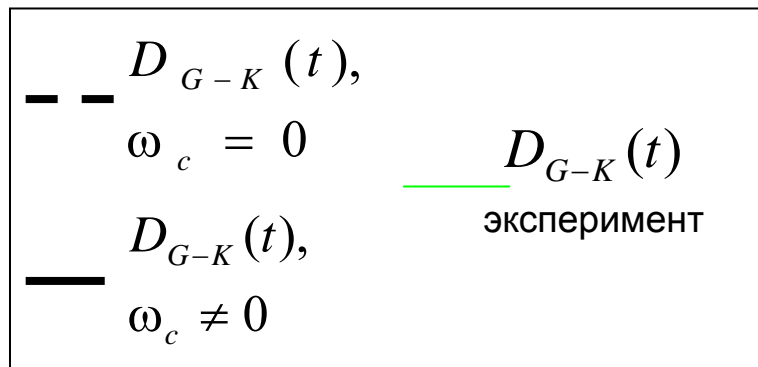


$$\Gamma^* \sim 1$$



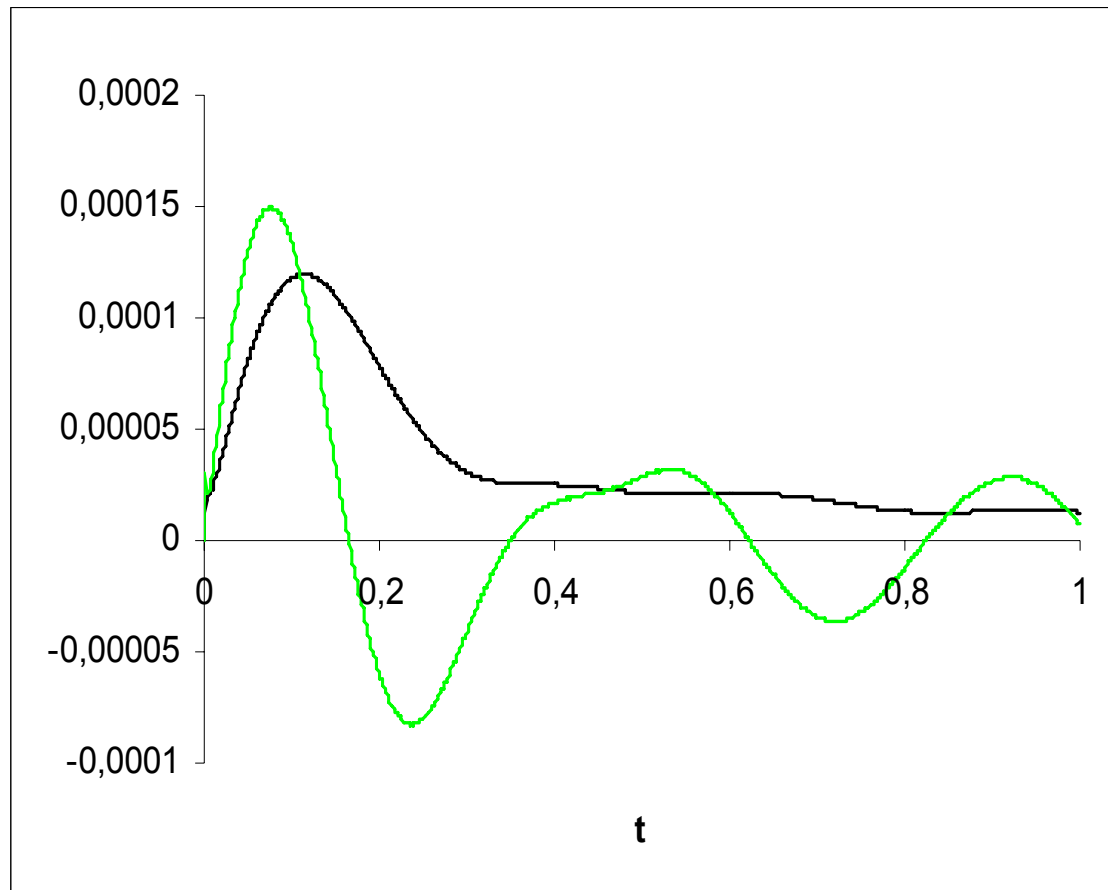
$$v_{fr} = 23$$

$$\omega_c = 10$$



$\Gamma^* \sim 300,$

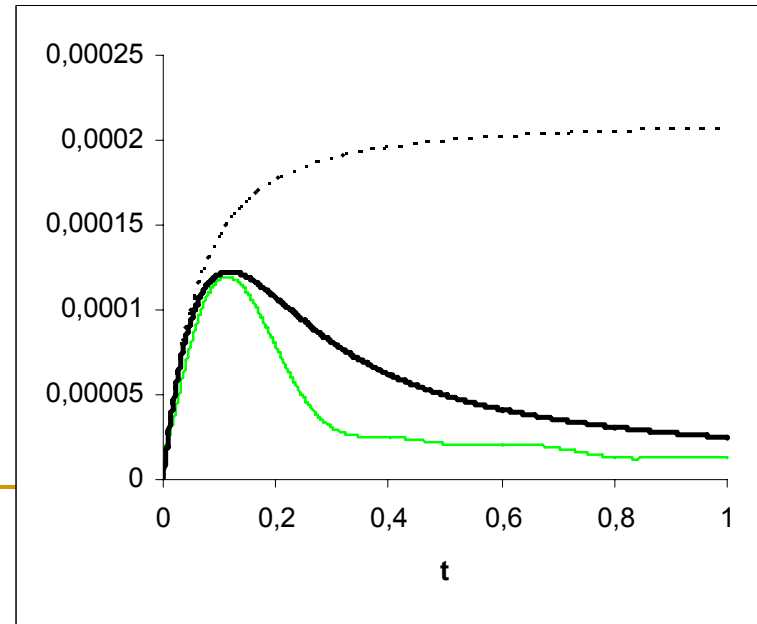
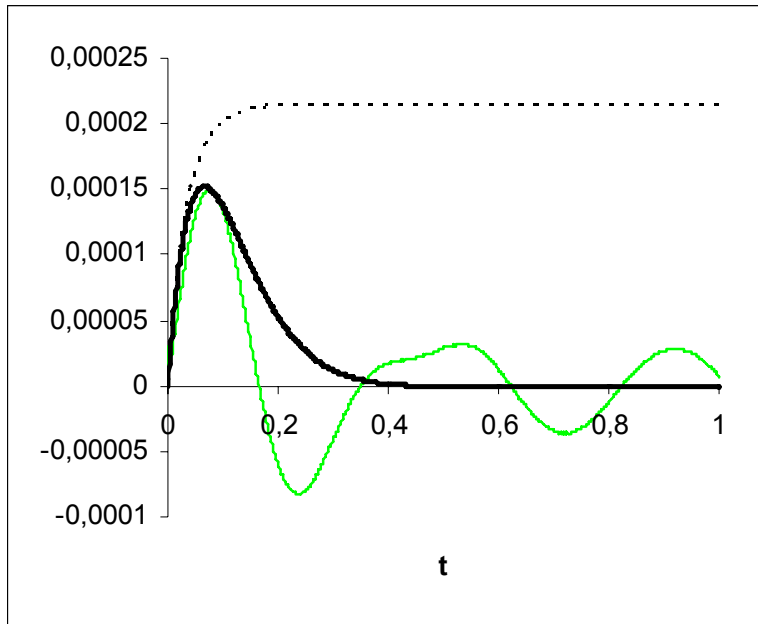
данные эксперимента



— $D(t)$

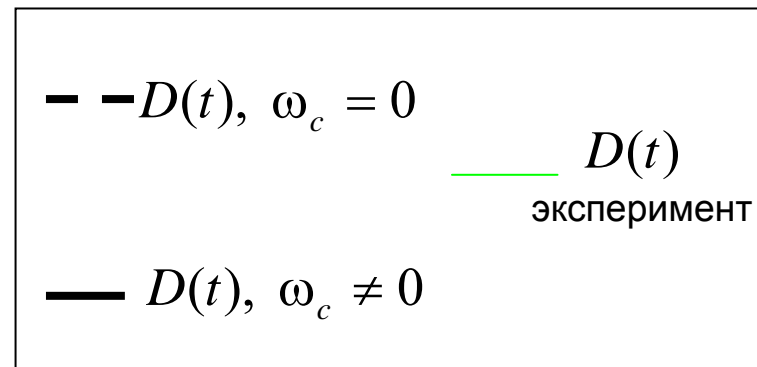
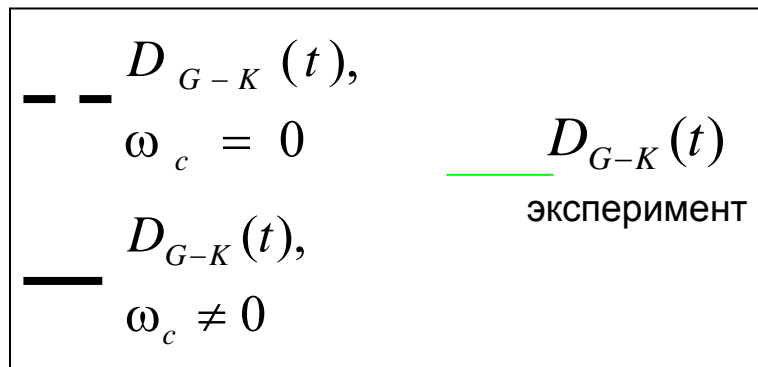
— $D_{G-K}(t)$

$\Gamma^* \sim 300$

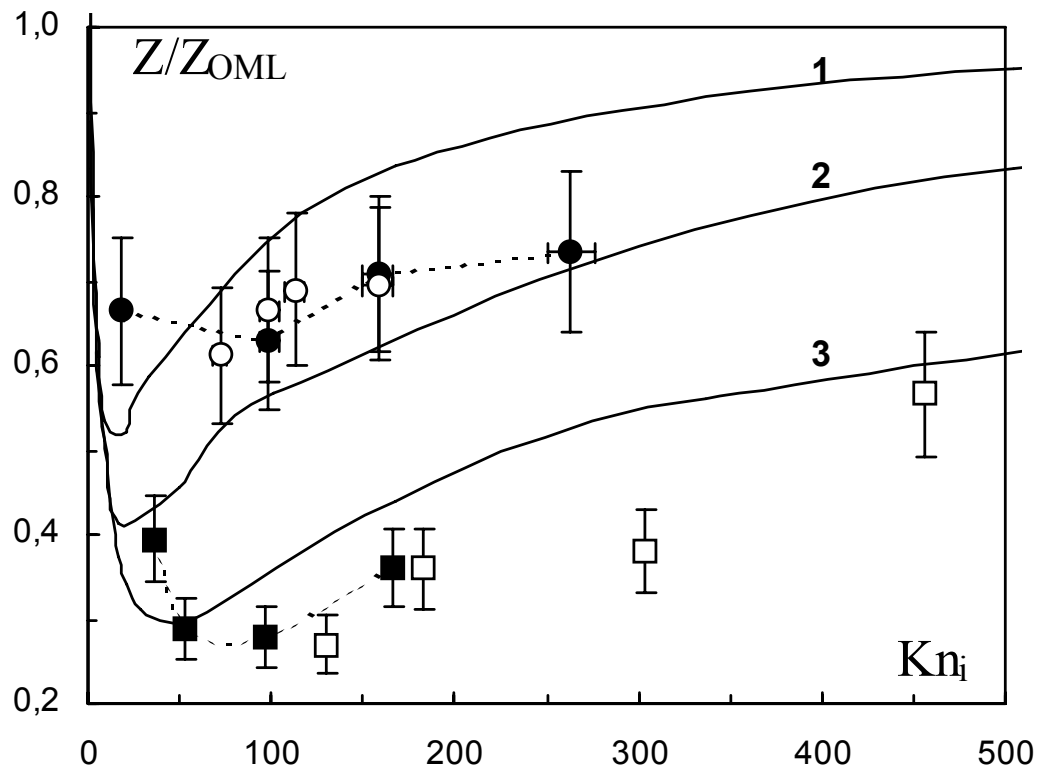


$v_{fr} = 28$

$\omega_c = 11$



Оценка минимального заряда пылевой частицы



$$Z_{\min} \cong \omega_c \{ \pi M l_p^{3/5.4} \}^{1/2}$$

$$Kn_i = l_{in} / a_p$$

$$a_p / \lambda: \quad \begin{array}{l} 1 - 0.07 ; \\ 2 - 0.023 ; \\ 3 - 0.007 \end{array}$$

$$V_{id} \geq V_{it} !!!$$

Заключение



Рассмотрен процесс диффузии макрочастиц в квазидвумерных плазменно-пылевых системах.



Функция эволюции массопереноса найдена по формуле Грина-Кубо, а также по среднему квадрату смещения макрочастиц.



Коэффициенты диффузии, полученные по данным формулам, совпадают в пределах погрешности.



Поведение функций эволюции массопереноса на малых временах наблюдения соответствует их поведению для частиц в кристаллической решетке.



Произведена оценка параметров пылевой подсистемы.

Спасибо за внимание!
