



# Измерение теплопроводности двумерных Неидеальных диссипативных систем

Ю. В. Хрусталева<sup>1,2</sup>, О. С. Ваулина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН

<sup>2</sup>Московский Физико-Технический институт (Национальный исследовательский университет)

Научно-координационная Сессия "Исследования неидеальной плазмы"

Москва, 2010

# Расчет теплопроводности исследуемая система

## Модель квази-двумерного монослоя в ВЧ-разряде

- 2D-система частиц
- Диссипация энергии макрочастиц за счет столкновений с нейтралами буферного газа: *частота столкновений  $\nu_{fr}$* .
- Разогрев макрочастиц моделируется случайными изменениями скорости частиц с нормальным распределением и дисперсией, соответствующей стационарному состоянию системы:

$$C_{Br} = \sqrt{2\tau\nu_{fr}h}$$

где  $\tau = T/M$  – удельная температура,  $h$  – шаг интегрирования.

- Моделируется система без ловушки: использование периодических граничных условий.

# Расчет теплопроводности исследуемая система

## Модель квази-двумерного монослоя в ВЧ-разряде

- «Уравнение состояния» системы  $f(\Gamma^*, \omega^*, T) = 0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma^* = c_1 \frac{(Ze)^2}{Tl_p} \left( 1 + \kappa + \frac{\kappa^2}{2} \right) \exp(-\kappa) \\ \omega^* \equiv \left\{ c_2 (eZ)^2 \frac{\left( 1 + \kappa + \frac{\kappa^2}{2} \right) \exp(-\kappa)}{l_p^3 \pi M} \right\}^{1/2} \end{array} \right.$$

где

$$\xi = \omega^* / v_{fr} \quad \kappa = l_p / r_D$$

Physical Review E 77, 066403 (2008)

Plasma Phys. 9, 835 (2002)

Plasma Phys. 11, 3234 (2004)

# Расчет теплопроводности исследуемая система

## Уравнения движения макрочастиц

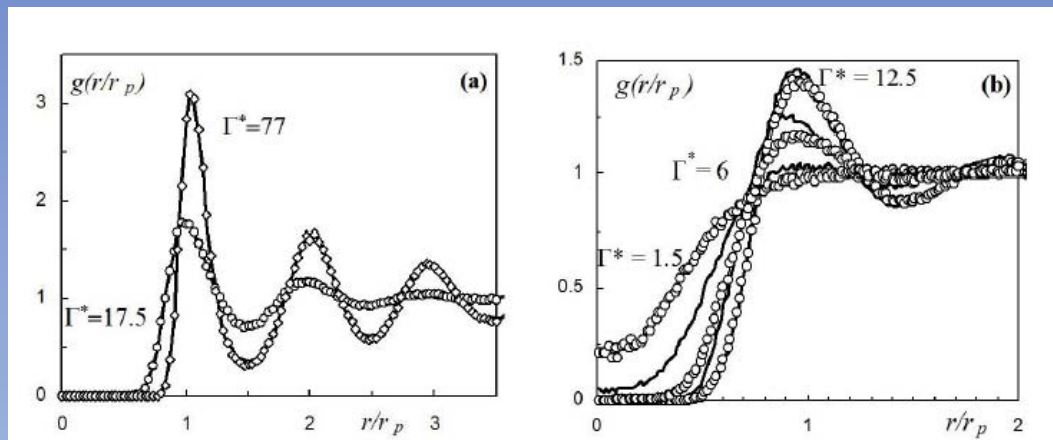
- Молекулярная ланжевеновская динамика

$$M\ddot{q}_{\alpha i} = -\nu_{fr}\dot{q}_{\alpha i} + \sum_{j \neq 1} f_{\alpha ij} + R_{\alpha}$$

- Периодические граничные условия
- Схема 4-го порядка точности Рунге-Кутта
- Броуновская диссипация

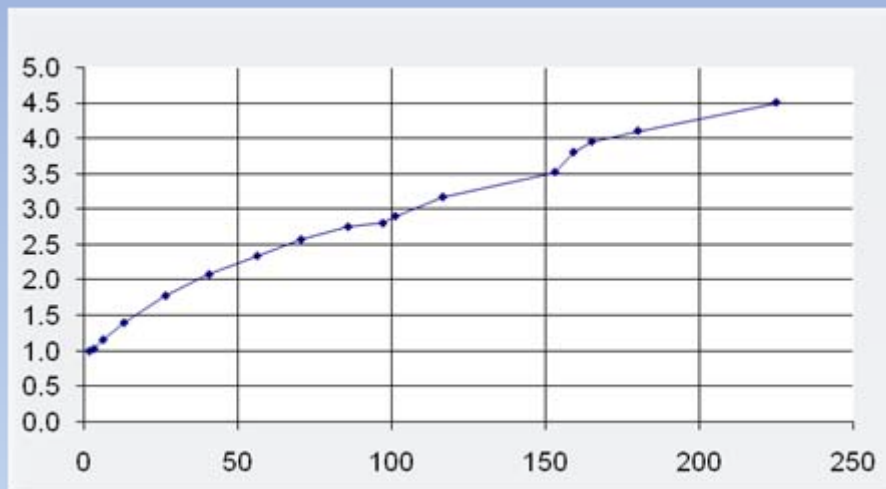
# Определение значения эффективного параметра неидеальности $\Gamma^*$

Парные корреляционные функции  $g(r)$  для различных значений  $\Gamma^*$



Зависимость значения первого максимума парной корреляционной функции от  $\Gamma^*$

$g_{max}$

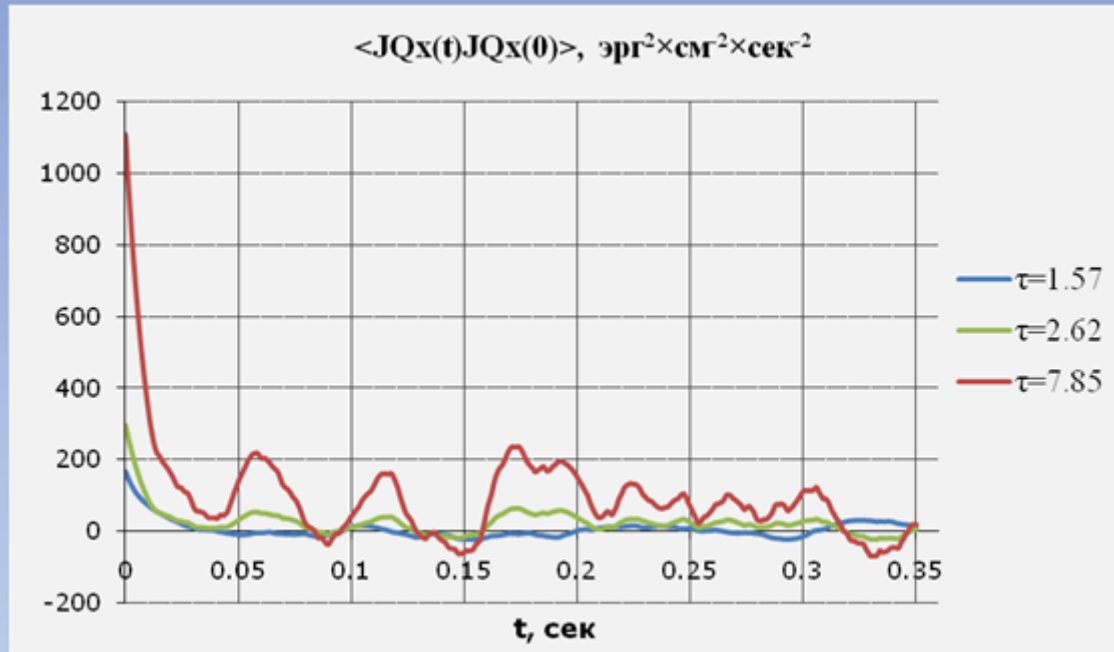


$\Gamma^*$

# Расчет теплопроводности формула Грина-Кубо

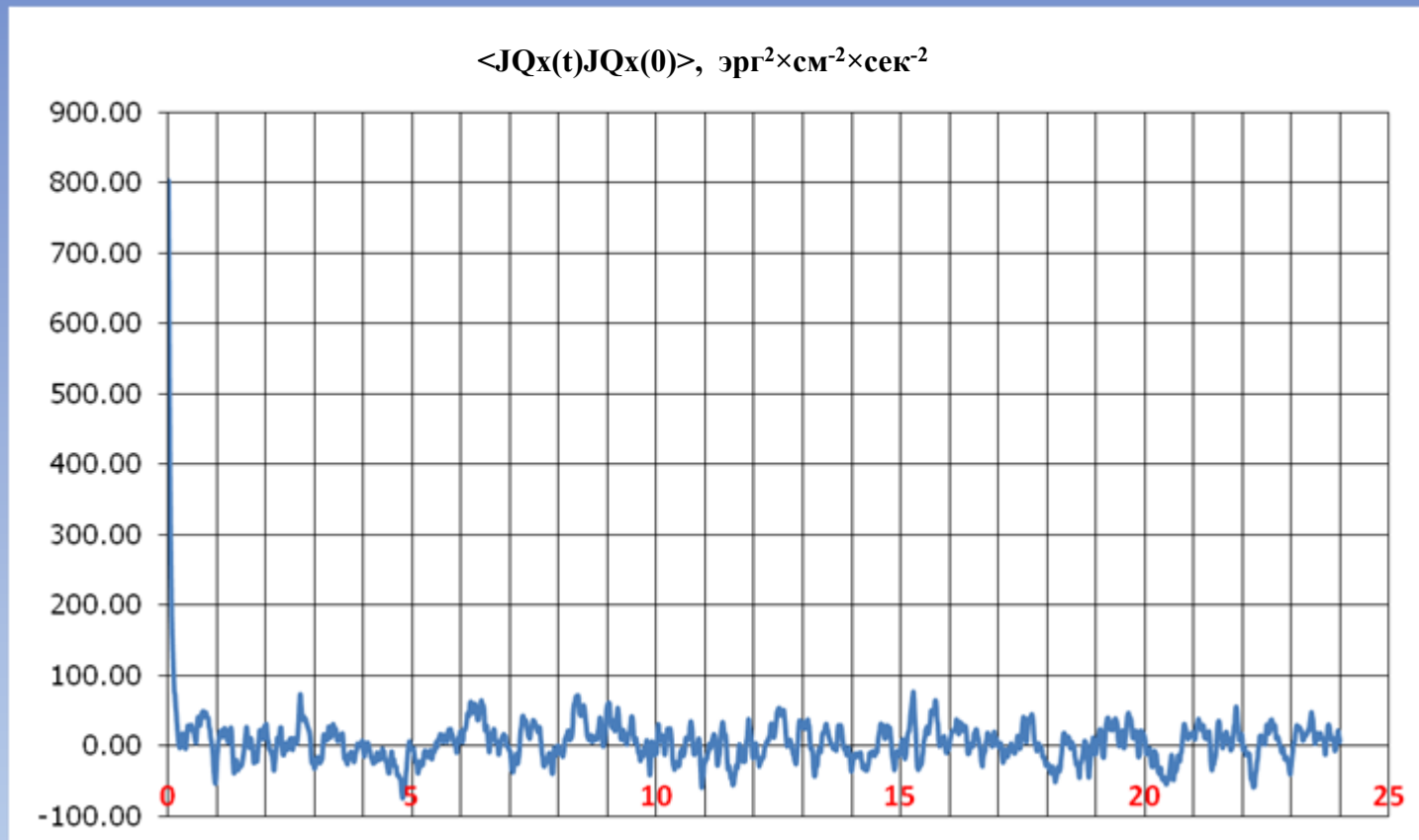
$$\lambda = \frac{k_B}{T^2} \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_0}^{t_0+t} \langle J_{Q\alpha}(t') J_{Q\alpha}(t_0) \rangle dt'$$

$$J_{Q\alpha}(t) = \frac{n}{N} \left( \sum_{i=1}^N e_i v_{i\alpha} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N (\mathbf{r}_{ij} \mathbf{v}_{ij}) \phi'_{ij} \frac{r_{ij\alpha}}{|\mathbf{r}_{ij}|} \right)$$



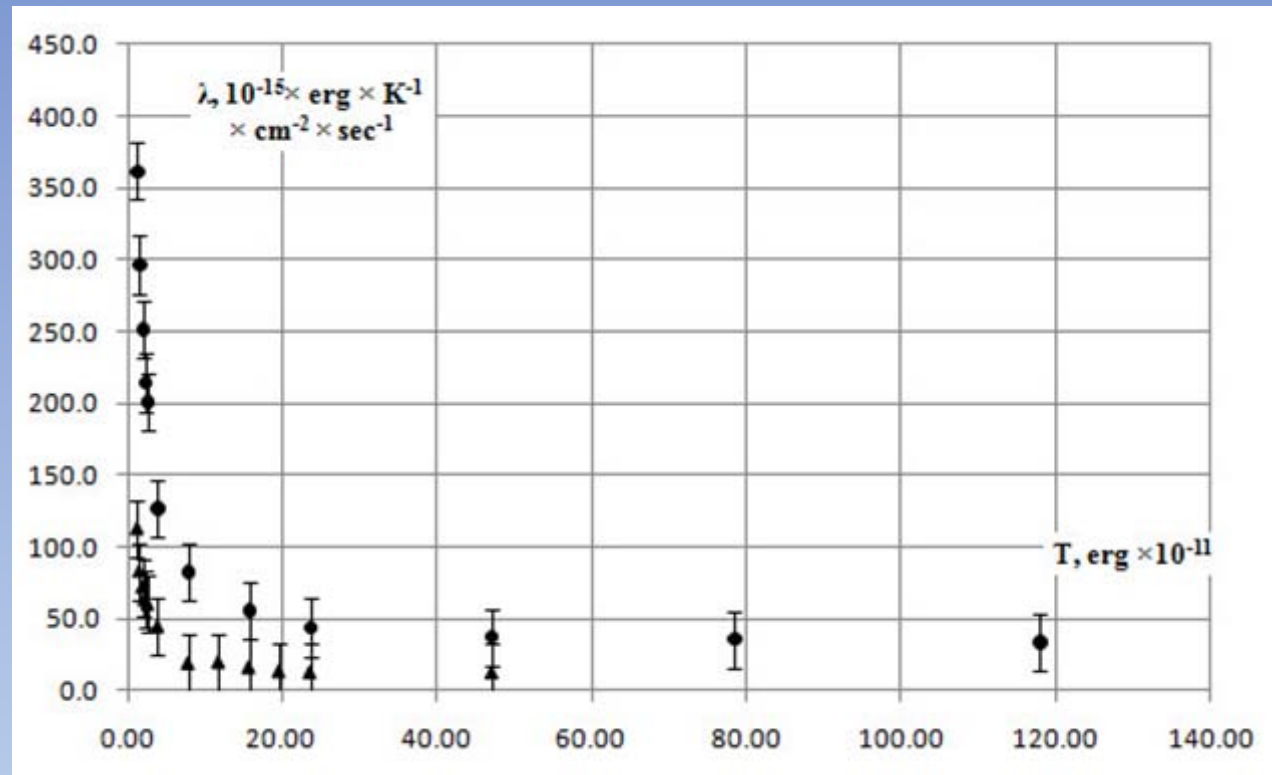
Пример корреляторов потоков тепла  $J_{Qx}$   
для различных удельных температур  $\tau$

# Расчет теплопроводности формула Грина-Кубо



Пример коррелятора потоков тепла  $J_{Qx}$   
при сохранении **долговременной корреляции потоков**  
для  $\tau = 0.314$ ,  $\kappa = 2$ ,  $\xi = 0.5$ ,  $\Gamma^* = 30$ .

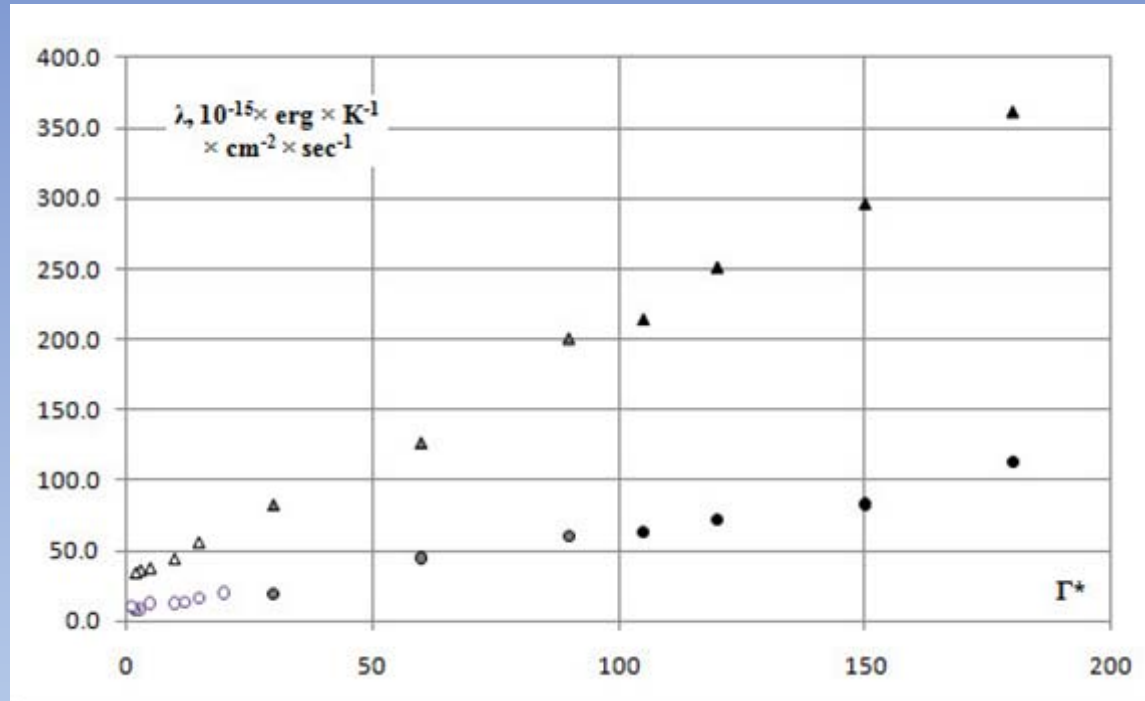
# Зависимость теплопроводности от температуры



$\xi = 0.33$  ( $\blacktriangle$ ) and  $\xi = 1$  ( $\bullet$ )



# Зависимость теплопроводности от эффективного параметра неидеальности $\Gamma^*$



# Выводы

- Проведены численные эксперименты методом молекулярной динамики Ланжевена.
- Получены значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  для диапазона параметров системы, характерных для экспериментов с монослоями пылевой плазмы в ВЧ разряде.
- Обнаружено, что существуют параметры, при которых существует долговременная корреляция потоков тепла

**Спасибо за внимание!**

*Эта работа частично поддержана Российским Фондом  
Фундаментальных исследований (10-08-00389-а).*