



Институт
экспериментальной
и теоретической
физики

Казахский
национальный
университет имени
аль-Фараби



О некоторых результатах численного моделирования свойств пылевой плазмы



Т.С.Рамазанов



Благодарность коллегам



- **Казахстан:** Баимбетов Ф.Б.,
Джумагулова К.Н., Данияров Т.Т.,
Досболаев М.К., Джумабеков А.Н.,
Коданова С.К., Омарбакиева Ю.А.
- **Россия (ОИВТ РАН):** Петров О.Ф.,
Антипов С.Н



СОДЕРЖАНИЕ



- 1. Движение пылевых частиц вблизи зонда**
- 2. Эффективный парный потенциал взаимодействия пылевых частиц в плазме**



1. Движение пылевых частиц вблизи зонда



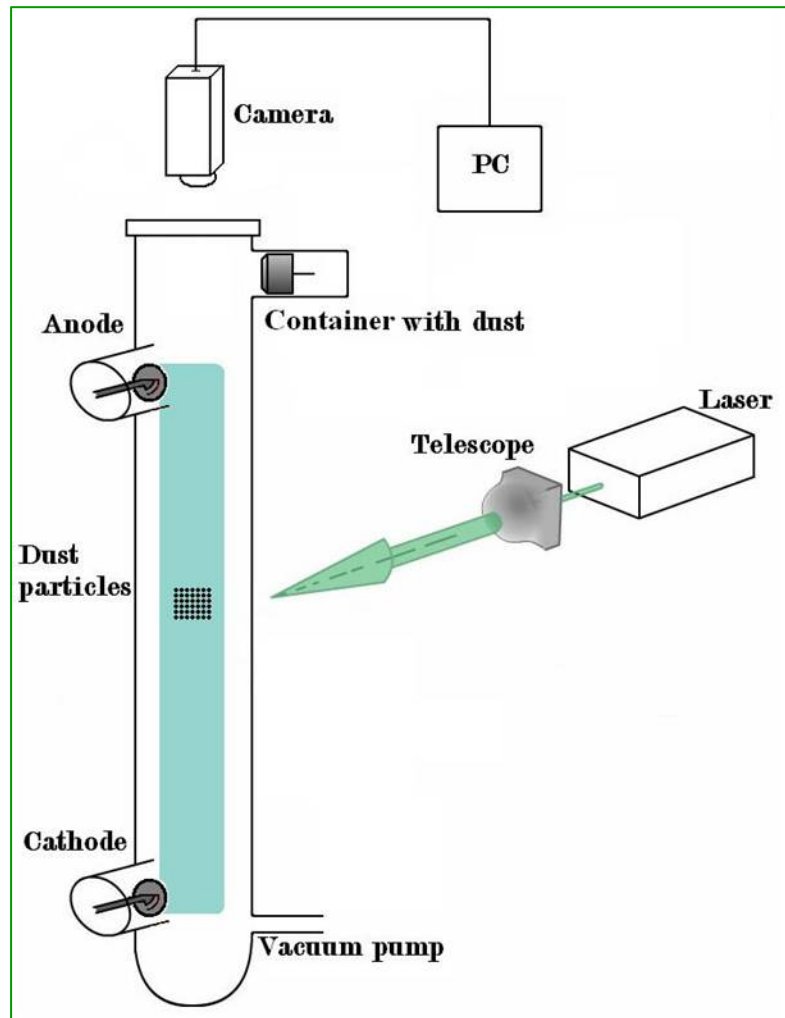


Experimental setup for generation of plasma dust structures on the basis of DC glow discharge



T.S.Ramazanov, M.K.Dosbolayev e.a. // PPPT. 2006. vol.3, p.147

Typical parameters of dc discharge experiments



DC glow discharge:

- Background gas: Ar
- Gas pressures: 0.08~0.2 Torr.
- Discharge current: 0.5~1.5 mA .

Visualization and registration:

- Laser with $\lambda=532$ nm and $P=1-250$ mW.
- CCD video camera at 25 fps.

Particles:

- Al_2O_3 poly-disperse particles with diameters 3-6 μm .

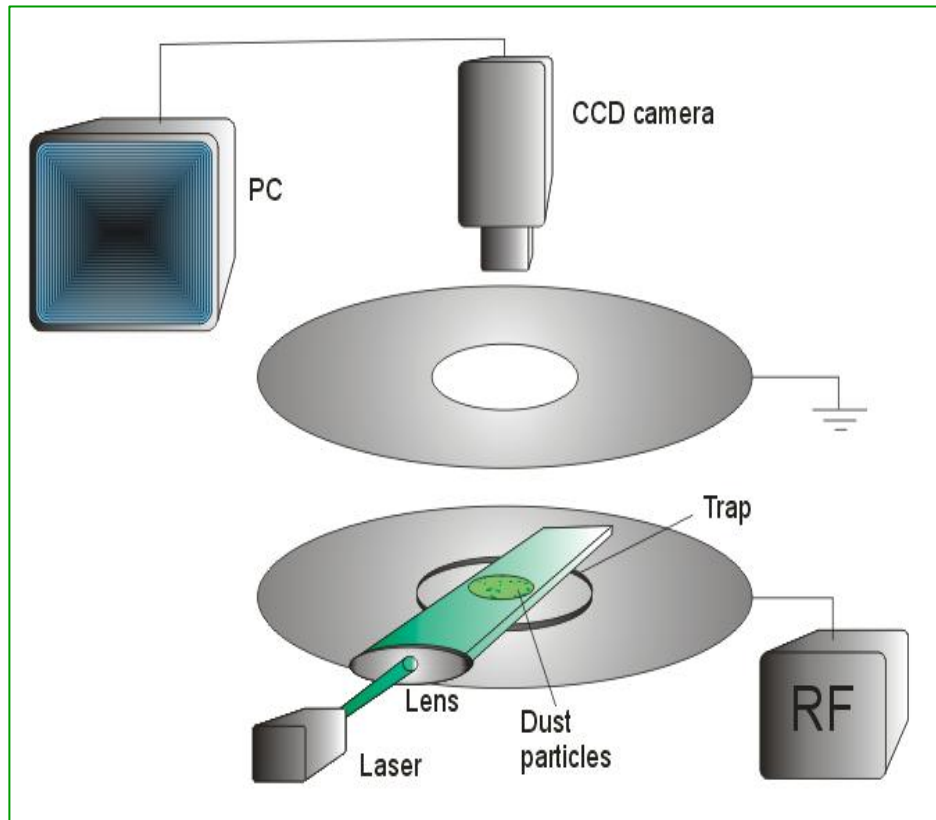


Experimental setup for generation of plasma dust structures on the basis of rf discharge



T.S.Ramazanov, M.K.Dosbolayev e.a. // PLTP. 2007. vol.2, p.205

Typical parameters of rf discharge experiments



RF discharge:

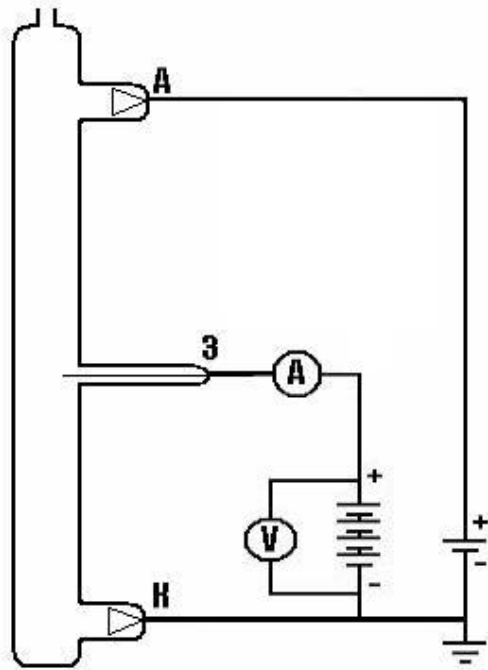
- RF – generator with $\nu=13.56$ MHz and $P=0.3-10$ W.
- Background gas: Ar
- Gas pressures: 0.05-2 Torr.

Visualization and registration:

- Laser with $\lambda=532$ nm and $P=1-250$ mW.
- CCD video camera at 25 fps.

Particles:

- Al_2O_3 poly-disperse particles with diameters 3-6 μm .



DC glow discharge:

Cylindrical glass tube with diameter 4.6 cm and interelectrod distance 55 cm
 Background gas: Ar
 Gas pressures: $P=0.08-0.2$ Torr
 Discharge current: $I=0.5-1.5$ mA

Probe:

diameter - 300 mkm,
 length - 4000 mkm

Particle:

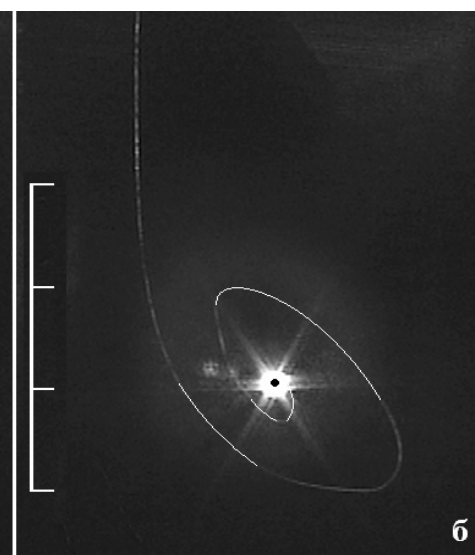
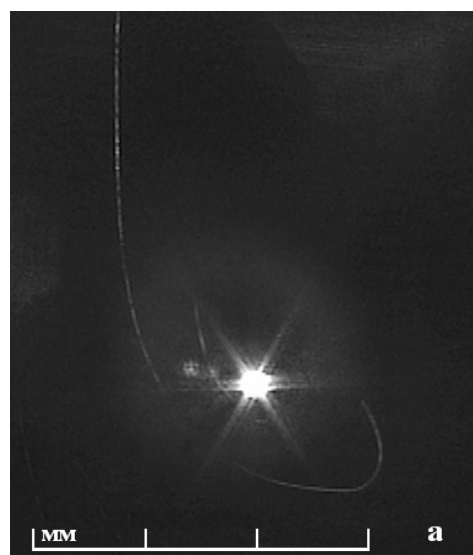
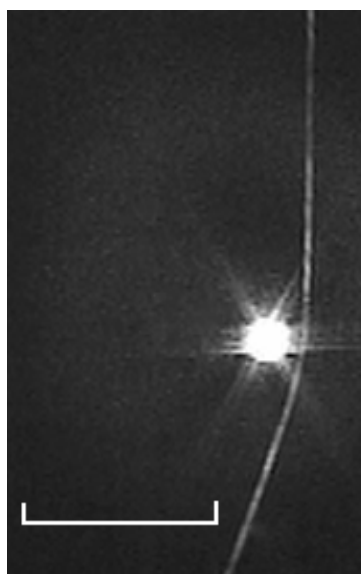
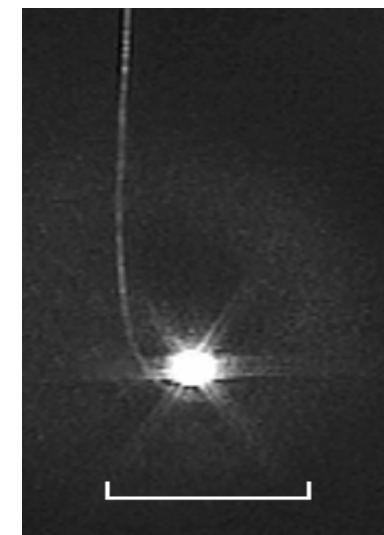
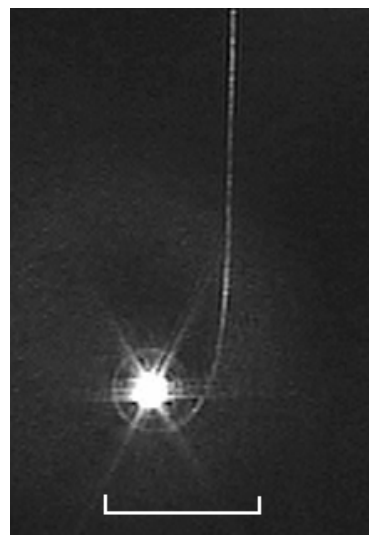
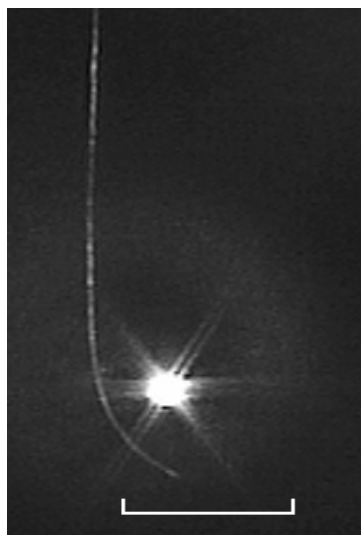
Al_2O_3 polydisperse particles with diameters 3-6 mkm

Visualization and registration:

Diode laser with $\lambda=532$ nm and $P=1-200$ mW
 CCD video camera at 25 fps



DUST PARTICLES ORBITING LANGMUIR PROBE





BASIC EQUATIONS



Equation of motion of dust particle

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{eZ_d}{M_d} \frac{dU(r)}{dr} + \frac{2K_0 p^2}{M_d r^3},$$
$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{p}{r^2} \left(\frac{2K_0}{M_d} \right)^{1/2}.$$

The Poisson equation

$$\Delta U(r) = -4\pi e [n_i(r) - n_e(r)]$$

$$n_e = n_0 \exp \left[-\frac{eU(r)}{kT_e} \right]$$

$$n_i = n_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{r_l}{r} \left[\frac{E_{0n} + eU(r_l)}{E_{0n} + eU(r)} \right]^{1/2} \right\} \quad \text{if } r > r_l,$$
$$n_i = \frac{n_0}{\pi} \arcsin \frac{r_l}{r} \left[\frac{E_{0n} + eU(r_l)}{E_{0n} + eU(r)} \right]^{1/2} \quad \text{if } r < r_l.$$

Charge of the dust particle near probe

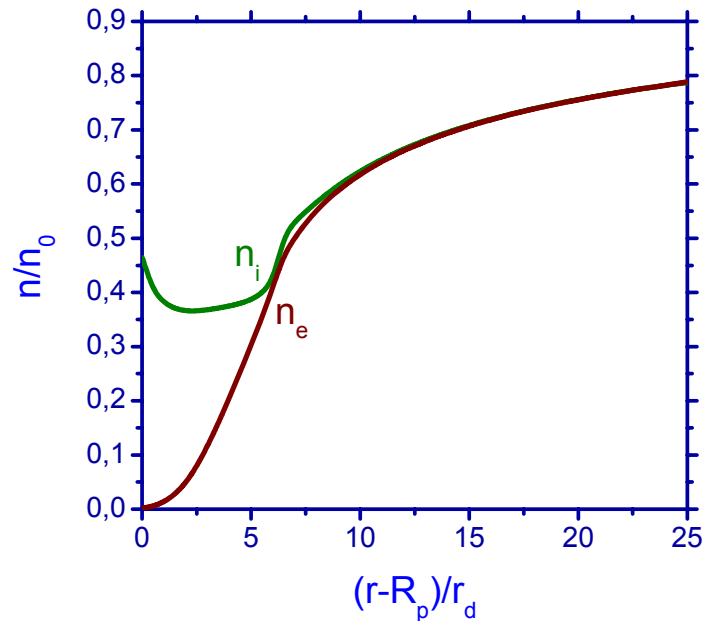
$$\frac{dZ_d}{dt} = \sum_k I_k$$

Dimensionless parameters:

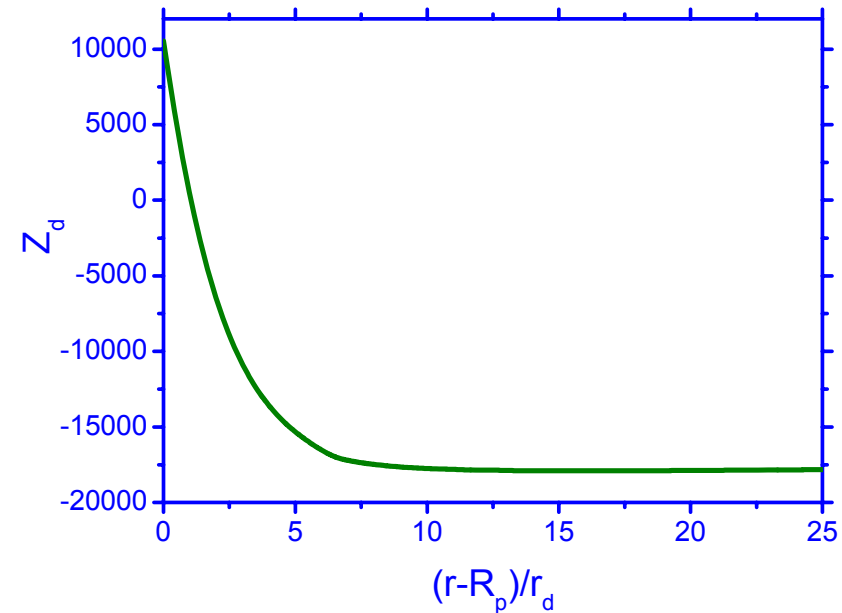
$$x = \frac{r}{r_l}, \quad \gamma = \frac{T_i}{T_e}, \quad \gamma_d = \frac{K_0}{kT_e}, \quad \varphi = \frac{eU(r)}{kT_e}$$



COMPUTER SIMULATIONS



Distribution of electrons and ions densities near cylindrical probe

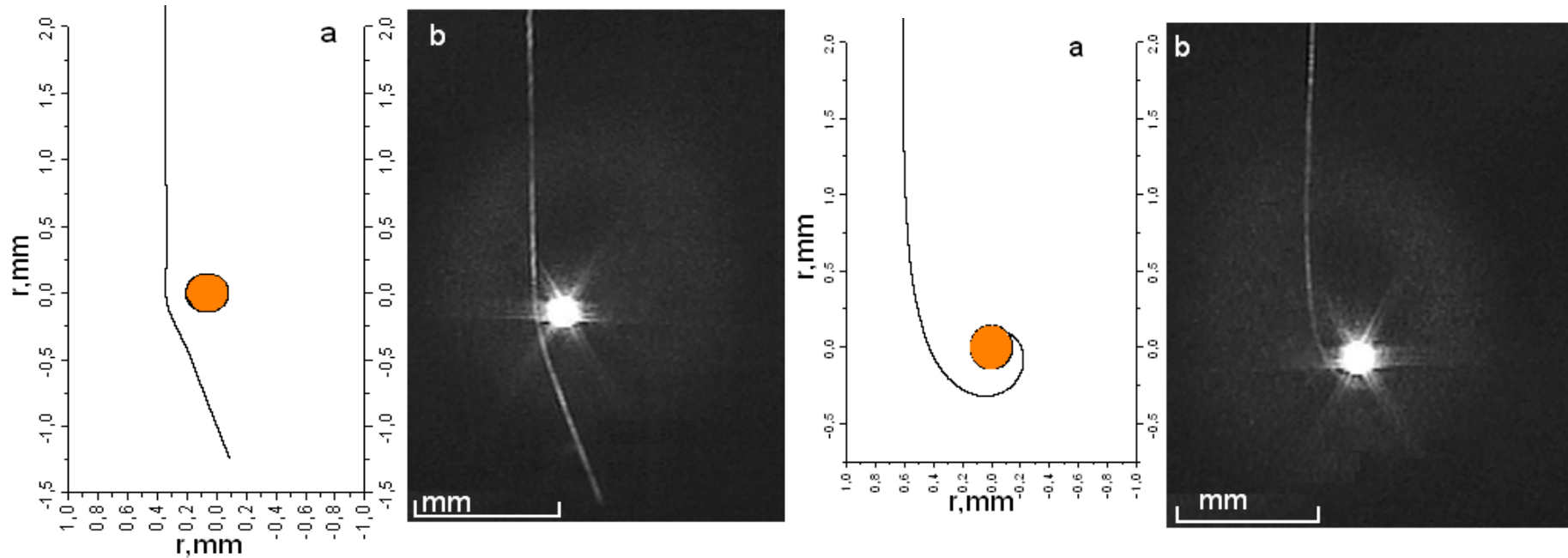


Charge of dust particle versus the distance from probe

Numerical calculations were performed for dust particle with 1.5 μm in radius, mass equals $1.7 \cdot 10^{-10}$ g, and Ar plasma ($m_i=6.63 \cdot 10^{-23}$ g) at electrons energy 5 eV, ions temperature equal the room temperature ($T_i/T_e=0.0069$), the Debye radius $r_d=0.006$ cm.



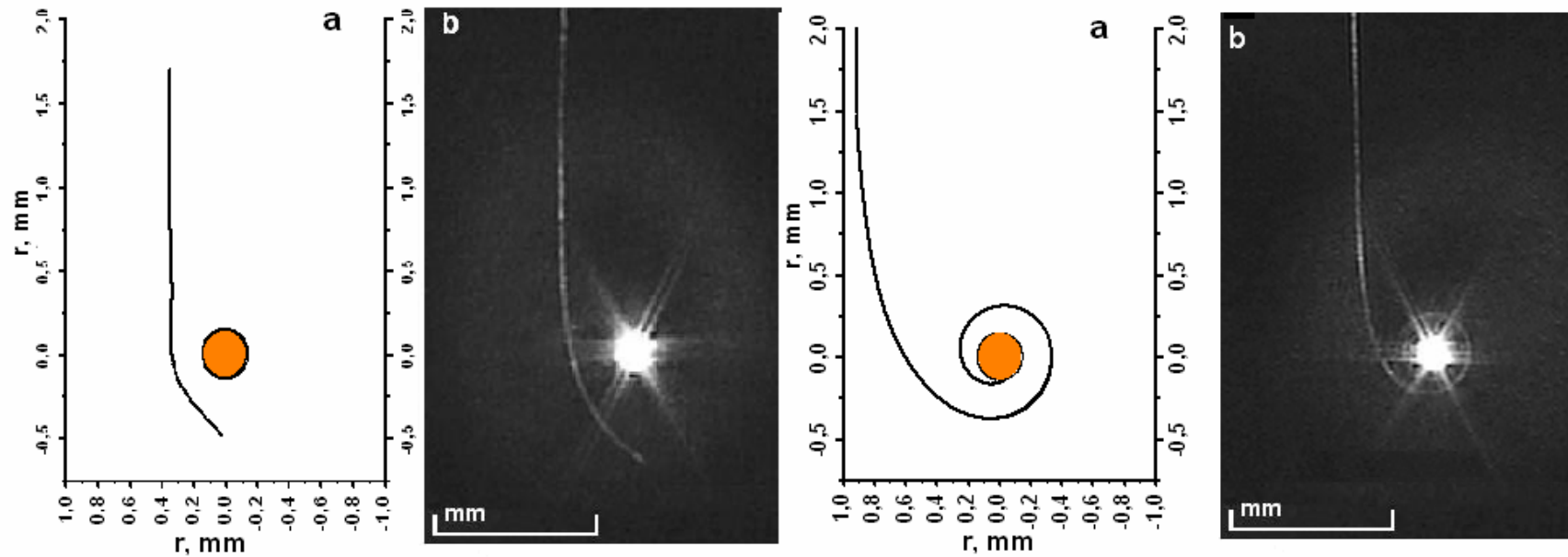
COMPUTER SIMULATION & EXPERIMENT



Trajectories of dust particle at different initial kinetic energies and impact parameters. Comparison of numerical (a) and experimental (b) results.

1) $p/R_p=1.7$; $gd = 32500$; 2) $p/R_p=3$; $gd = 25000$;

T.S. Ramazanov, S.K.Kodanova, O.F. Petrov e.a. // J.Phys. A: Math. Gen., 2008. Vol. 41 (in press).



Trajectories of dust particle at different initial kinetic energies and impact parameters. Comparison of numerical (a) and experimental (b) results.

1) $p/R_p=3$; $g_d = 29000$; 2) $p/R_p=4.5$; $g_d = 33430$;

T.S. Ramazanov, S.K.Kodanova, O.F. Petrov e.a. // J.Phys. A: Math. Gen., 2008. Vol. 41 (in press).



ВЫВОДЫ (часть 1)



- Экспериментально исследовано движение пробных пылинок вблизи зонда. Обнаружено, что частицы при определенных параметрах совершают вращательное движение вокруг зонда, что было объяснено следующим образом: **пылинка**, изначально имевшая тот же знак заряда, что и зонд, **вблизи зонда перезаряжается потоком ионов**, преобладающим над потоком электронов.
- Выполнены теоретические расчеты заряда пылинки вблизи зонда, распределения потенциала зонда, траектории пылинки в поле зонда. Показано хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных.
- Полученные данные могут быть использованы в дальнейших работах по разработке методик диагностики пылевой плазмы.



2. Эффективный парный потенциал взаимодействия пылевых частиц в плазме





Interaction Potential for Dust Particles reconstructed from the Experimental Data



The Poisson equation

$$\Delta\varphi(r) = -4\pi e[n_i(r) - n_e(r) - Z_d n_d(r)]$$

$$n_i(r) = n_{i0} \left(1 - \frac{e\varphi(r)}{k_B T_i}\right)$$

$$n_e(r) = n_{e0} \left(1 + \frac{e\varphi(r)}{k_B T_e}\right)$$

$$n_d(r) = n_{d0} g(r)$$

Boundary conditions

Yukawa

$$\varphi|_{r \rightarrow r_0} = \frac{(Z_d e)^2}{r_0} \exp(-r / r_D)$$

$$\varphi|_{r \rightarrow \infty} = 0$$

Coulomb

$$\varphi|_{r \rightarrow r_0} = \frac{(Z_d e)^2}{r_0}$$

$$\varphi|_{r \rightarrow \infty} = 0$$

T.S.Ramazanov, Yu.A.Omarbakiyeva e.a. // Phys.Letters A. 2008, (in press)



Data from experiments



Table 1. Data from the experiments with dusty plasma in DC discharge

Experiment No.	Discharge parameters	Buffer plasma parameters	Dust particles parameters	Dimensionless parameters
1	$P = 0.152 \text{ torr}$ $I = 0.992 \text{ mA}$	$T_i = 0.05 \text{ eV}$ $n_{e0} = 2.96 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$	$b_d = 5 \text{ mkm}$ $Z_d = 2.1 \cdot 10^4$ $n_{d0} = 14300 \text{ cm}^{-3}$	$\Gamma = 121$ $k = 1.79$
2	$P = 0.182 \text{ torr}$ $I = 0.775 \text{ mA}$	$T_i = 0.05 \text{ eV}$ $n_{e0} = 2.1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$	$b_d = 5 \text{ mkm}$ $Z_d = 2.1 \cdot 10^4$ $n_{d0} = 3940 \text{ cm}^{-3}$	$\Gamma = 239.7$ $k = 2.67$
3	$P = 0.11 \text{ torr}$ $I = 1.8 \text{ mA}$	$T_i = 0.05 \text{ eV}$ $n_{e0} = 2.4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$	$b_d = 5 \text{ mkm}$ $Z_d = 2.1 \cdot 10^4$ $n_{d0} = 10712 \text{ cm}^{-3}$	$\Gamma = 68.50$ $k = 1.69$
4	$P = 0.13 \text{ torr}$ $I = 1.44 \text{ mA}$	$T_i = 0.05 \text{ eV}$ $n_{e0} = 2.4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$	$b_d = 5 \text{ mkm}$ $Z_d = 2.1 \cdot 10^4$ $n_{d0} = 20995 \text{ cm}^{-3}$	$\Gamma = 40.67$ $k = 1.49$

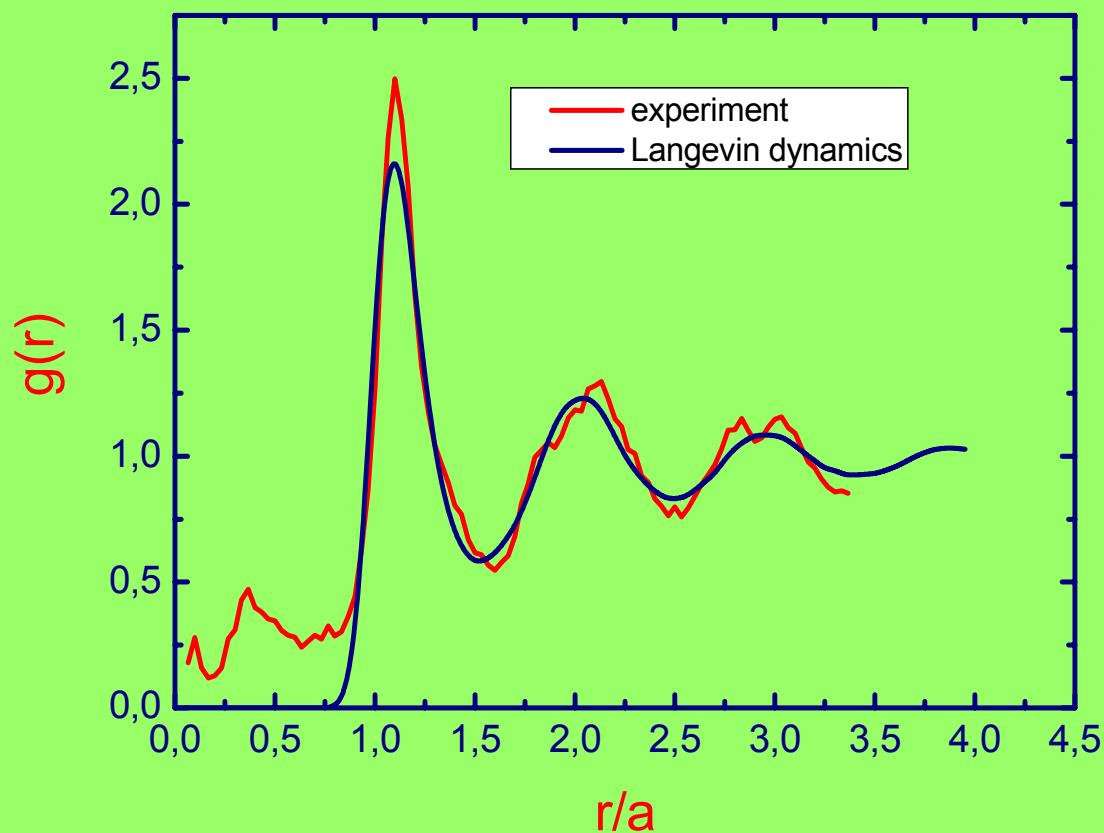
1. T.S. Ramazanov, K. N.Dzhumagulova, A. N.Zhumabekov e.a. // *Physics of Plasmas*, 2008, Vol. 15, No.5, p. 053704
2. G.I.Sukhinin, T.S.Ramazanov e.a. // *J.Phys. D: Applied Physics*. 2008, vol.41, no.22.



Radial distribution function



Experiment No.1

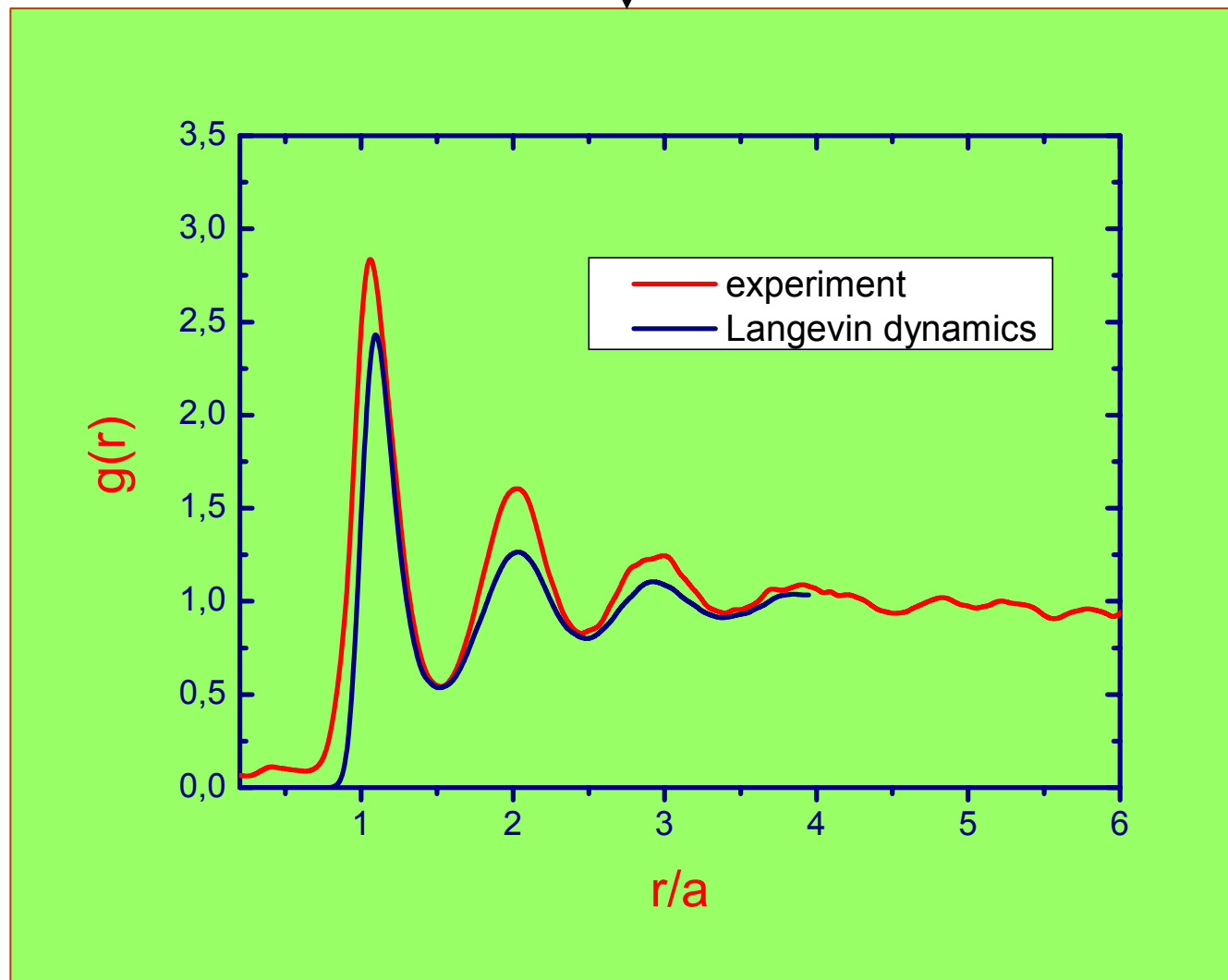




Radial distribution function



Experiment No.2

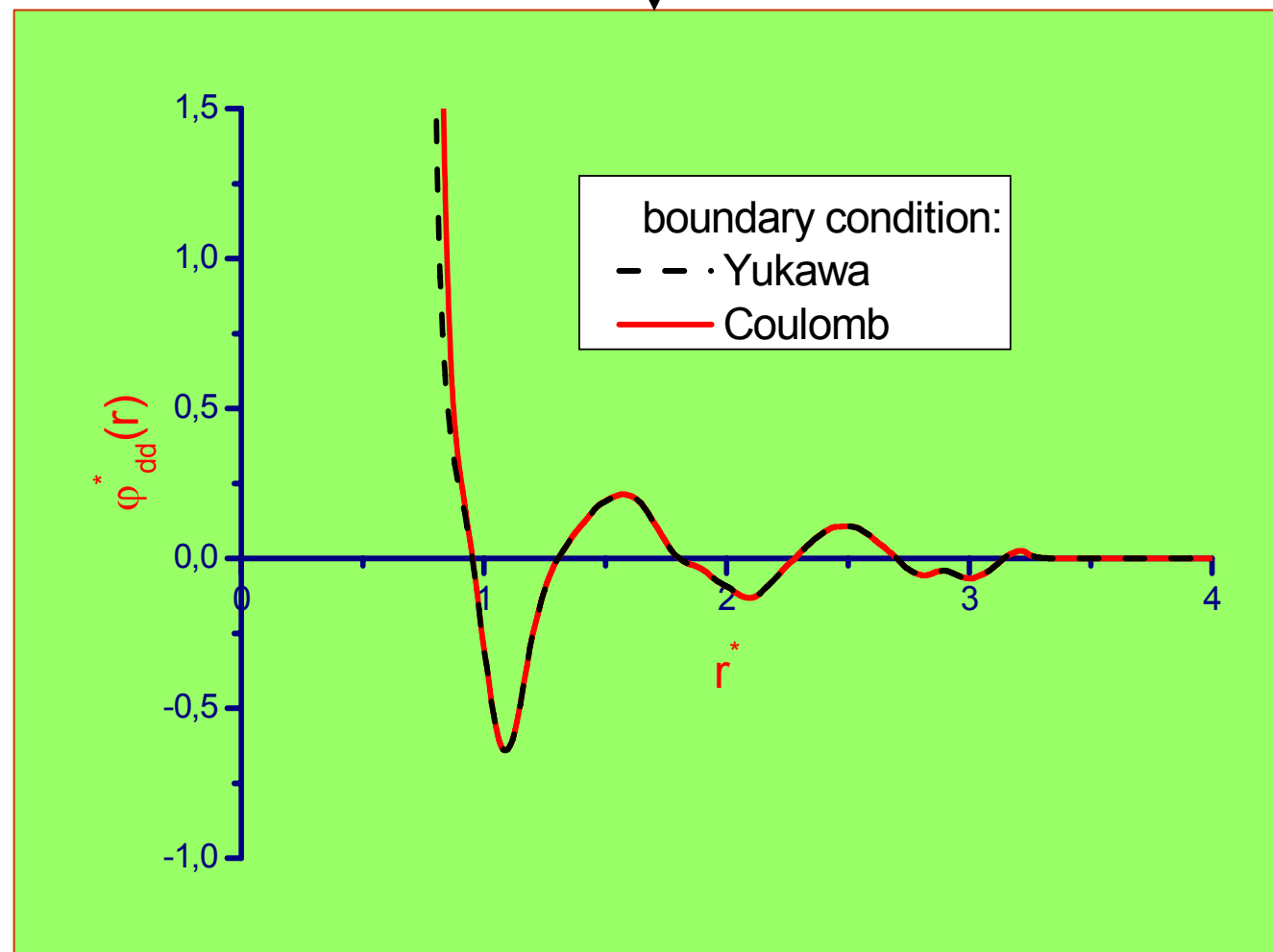




Effective interaction potential for dusty particles



Experiment No.1

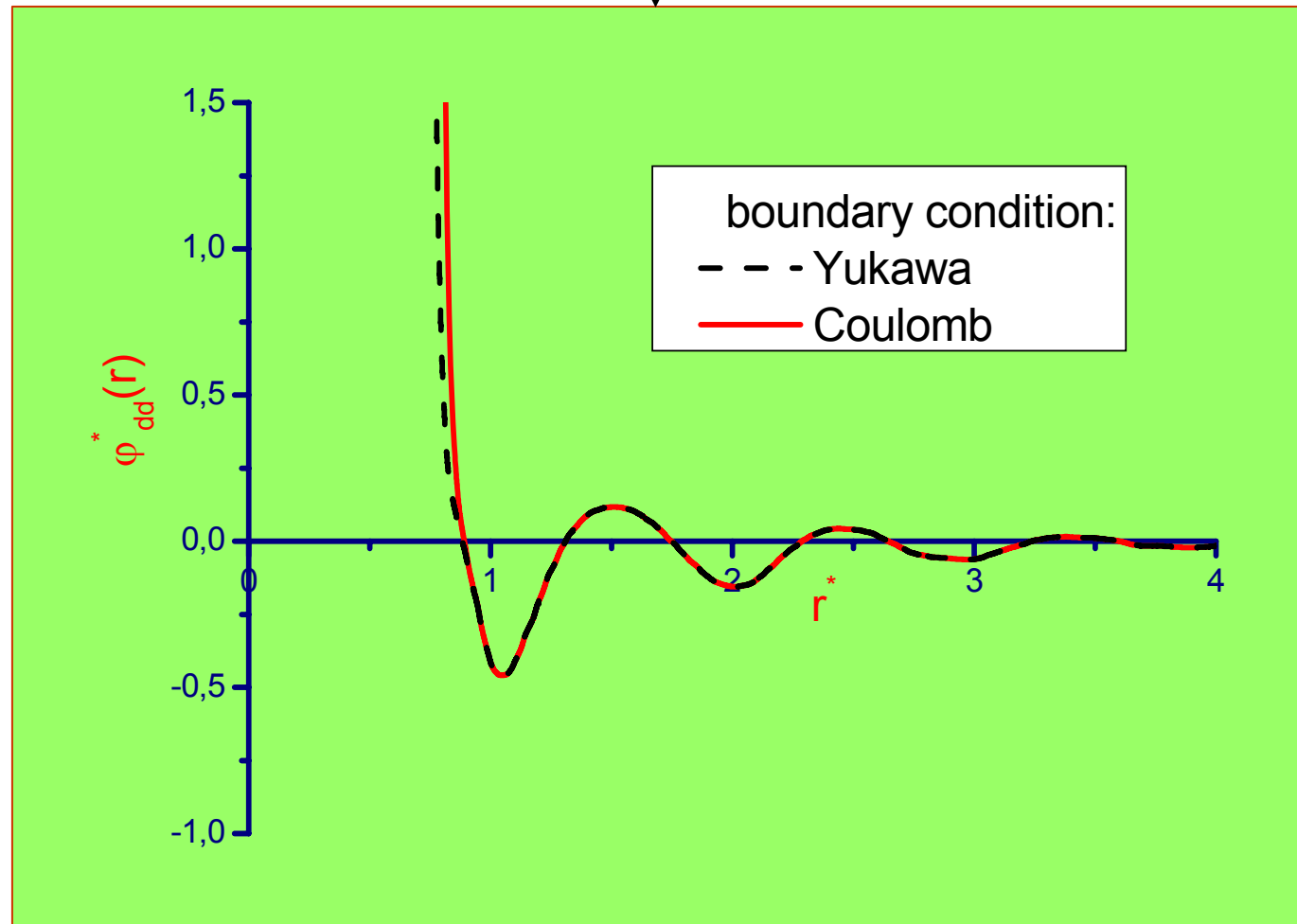




Effective interaction potential for dusty particles



Experiment No.2

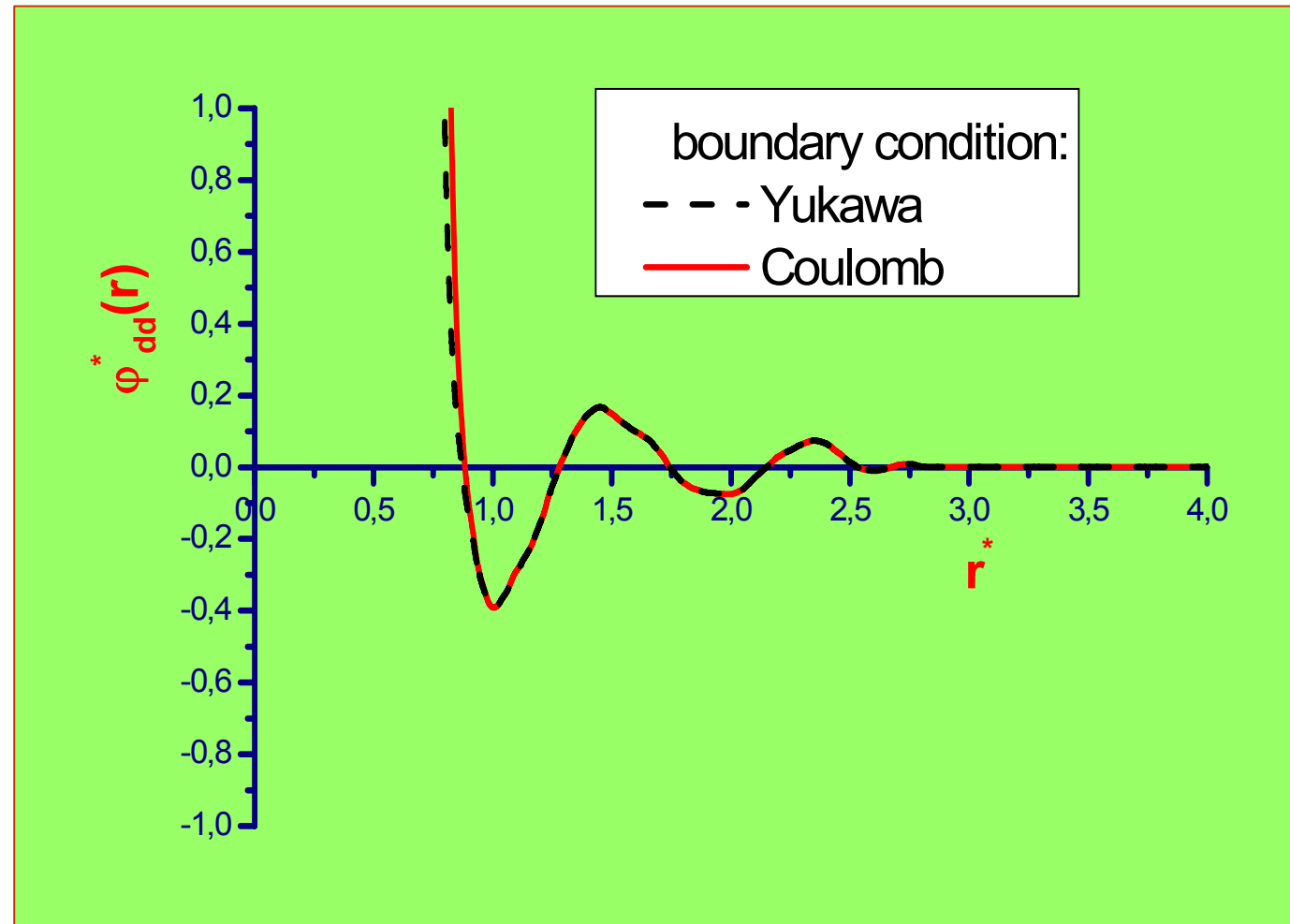


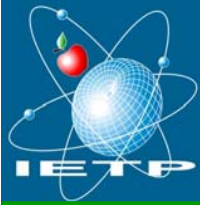


Effective interaction potential for dusty particles



Experiment No.3

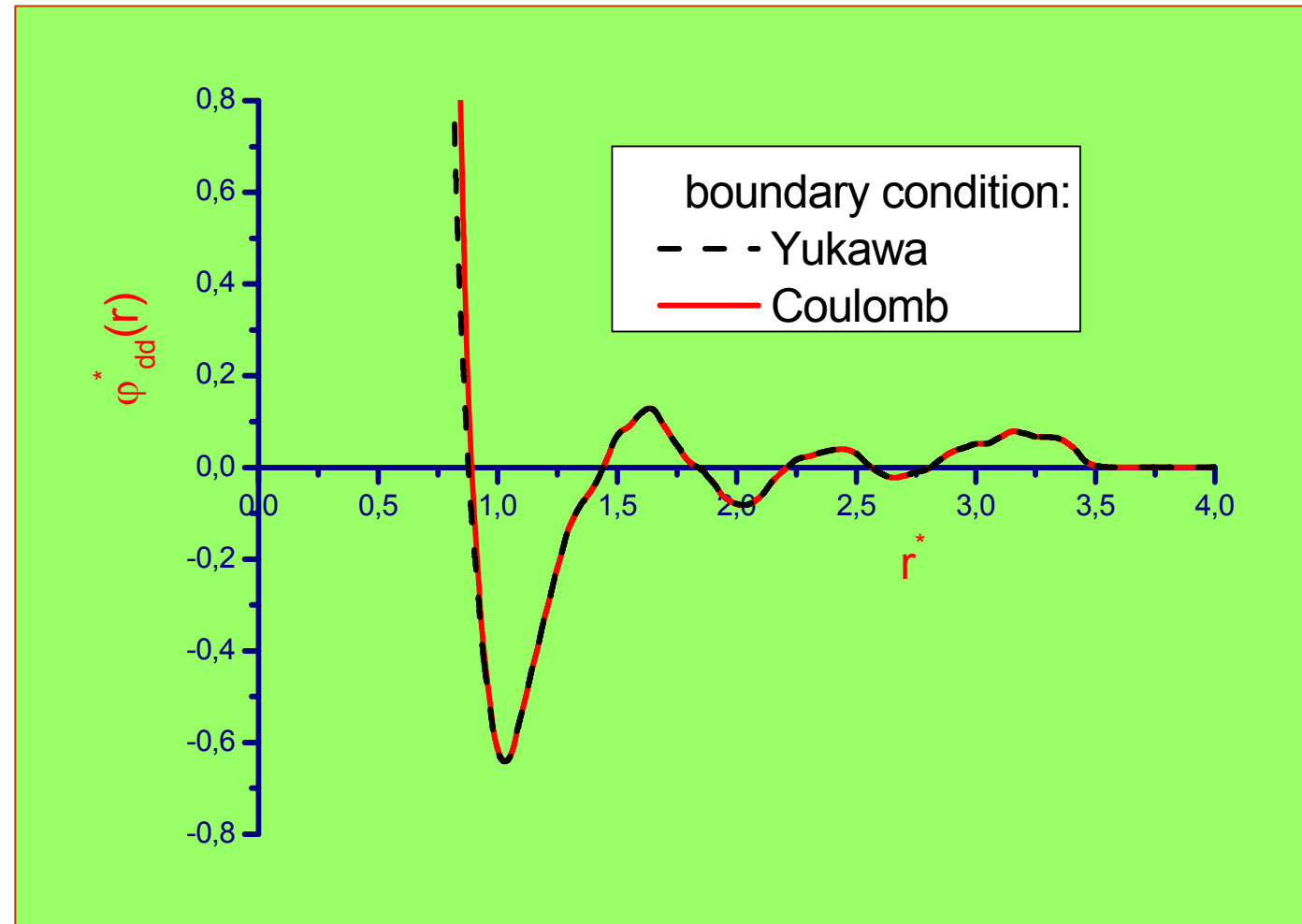




Effective interaction potential for dusty particles



Experiment No.4





ВЫВОДЫ (часть 2)



- На основе численного решения уравнения Пуассона с использованием экспериментальных корреляционных функций получены эффективные парные потенциалы взаимодействия пылевых частиц в плазме.
- Полученный эффективный потенциал имеет осциллирующий характер и притягательную часть.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !!!