

Троицкий институт
инновационных и термоядерных
исследований

Взаимодействие частиц в
пылевой плазме

Ю. В. Петрушевич

Научно-координационная Сессия
"Исследования неидеальной плазмы" 2010 (NPP
2010)

1-2 декабря 2010

Динамическая модель

заряженных частиц в пылевой

плазме

Заряд пылевых частиц и

пространственный заряд в плазме

Силы взаимодействия пылевых

частиц

Заключение

Гидродинамическая модель низкотемпературной пылевой плазмы

Система уравнений :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{w}_e n_e) = \operatorname{div}(D \cdot \nabla n_e) + Q_e$$

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{w}_i n_i) = Q_i$$

$$\Delta \varphi = 4\pi e(n_e - n_i)$$

Граничные условия :

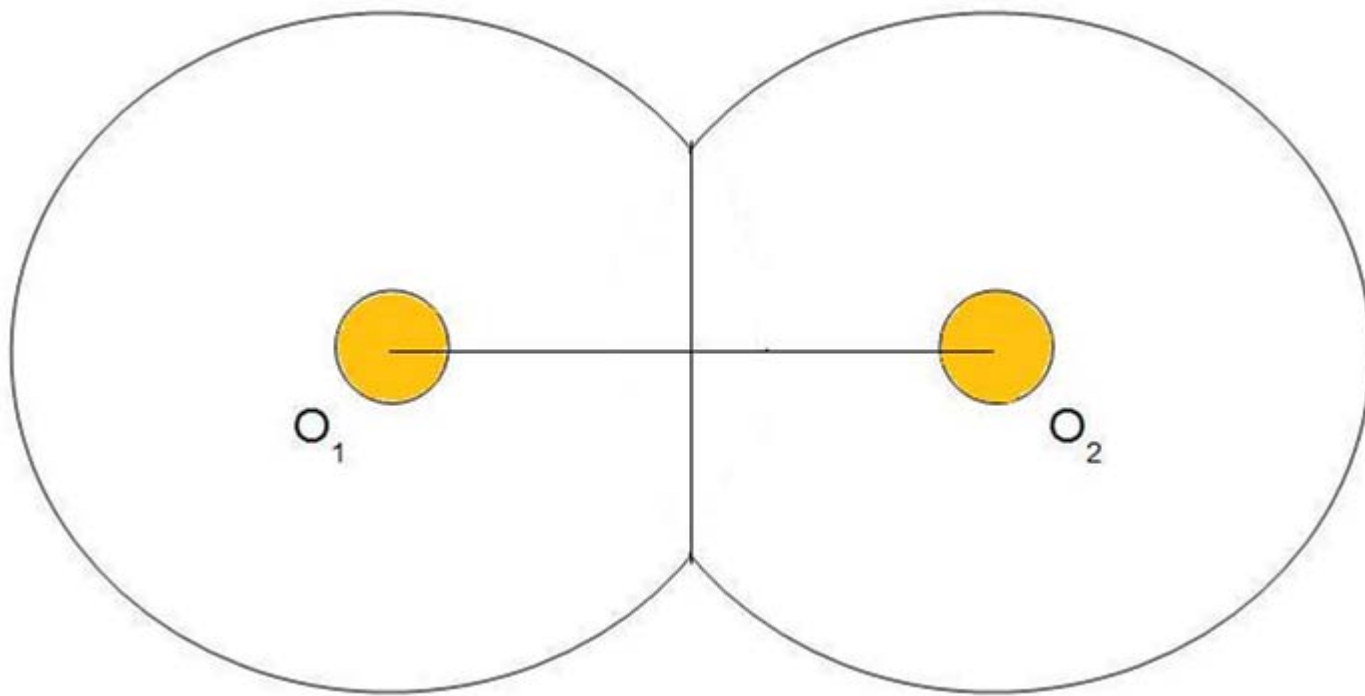
$$n_i(r \rightarrow \infty) = n_i^{(eq)}$$

$$n_e(r = R_d) = 0 \quad n_e(r \rightarrow \infty) = n_e^{(eq)}$$

$$\varphi(r = R_d) = \varphi_0 \quad \nabla \varphi(r \rightarrow \infty) = -E_0$$

Сферическая система координат

Пространство разделяется на **2** области
плоскостью, перпендикулярной линии,
соединяющей центры пылевых частиц и
эквидистантой от их центров



Вычисление потенциала электрического поля и сил взаимодействия пылевых частиц

Решение уравнения Пуассона представляется в виде рядов разложения по полиномам Лежандра

$$\varphi(r, \theta) = \sum_{l=0} R_l^{(1)}(r_1) P_l(\theta_1) + \sum_{l=0} R_l^{(2)}(r_2) P_l(\theta_2)$$

Коэффициенты разложения определяются из граничных условий, наложенных на потенциал поля.

$$R_l^{(m)}(r) = \frac{4\pi e}{2l+1} \left(A_l^{(m)} - \int_{R_d}^r dr r_1^l \rho_l^{(m)}(r_1) \right) r^l - \frac{4\pi e}{2l+1} \left(B_l^{(m)} + \int_{R_d}^r dr r_1^{l+2} \rho_l^{(m)}(r_1) \right) / r^{l+1}$$

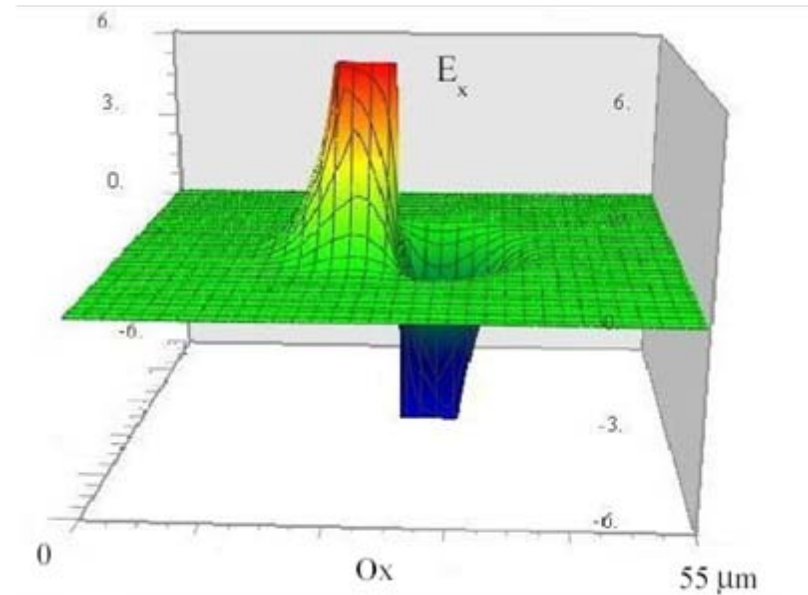
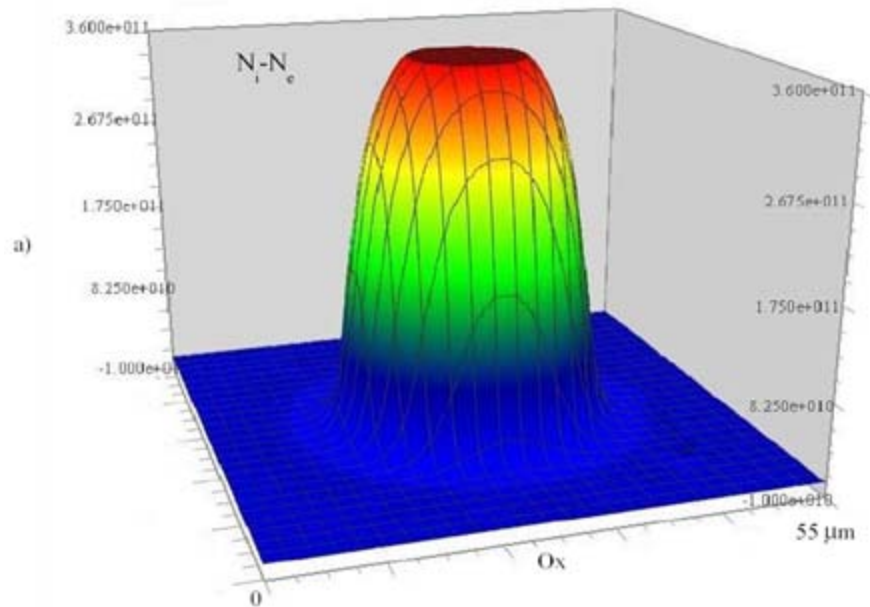
Электростатическая сила, действующая на частицу, вычисляется как компонента тензора энергии-импульса электромагнитного поля на поверхности

$$\vec{F} = \oint \frac{E^2}{8\pi} \vec{n} ds$$

$$F = \frac{1}{2} (F_2 - F_1)$$

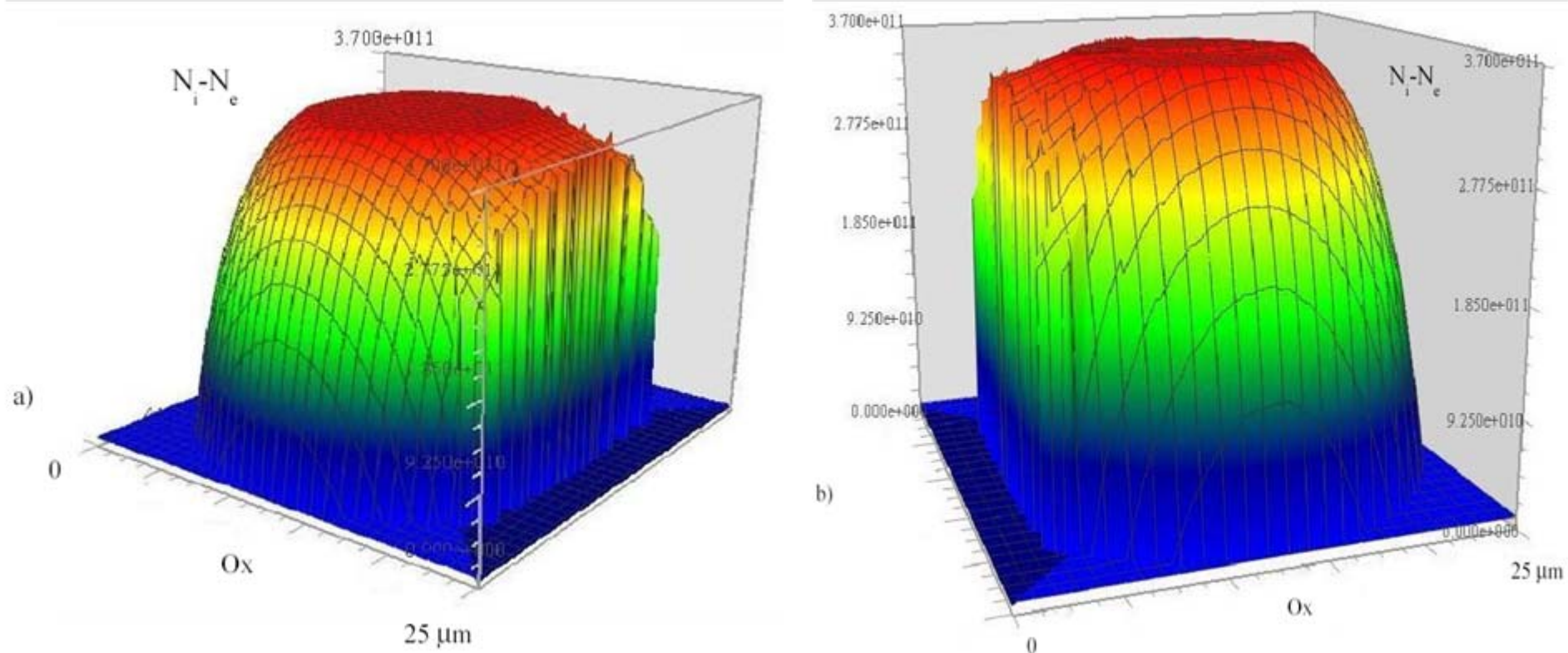
Пространственное распределение заряда и напряженности электрического поля

Низкая концентрация
пылевых частиц в плазме.



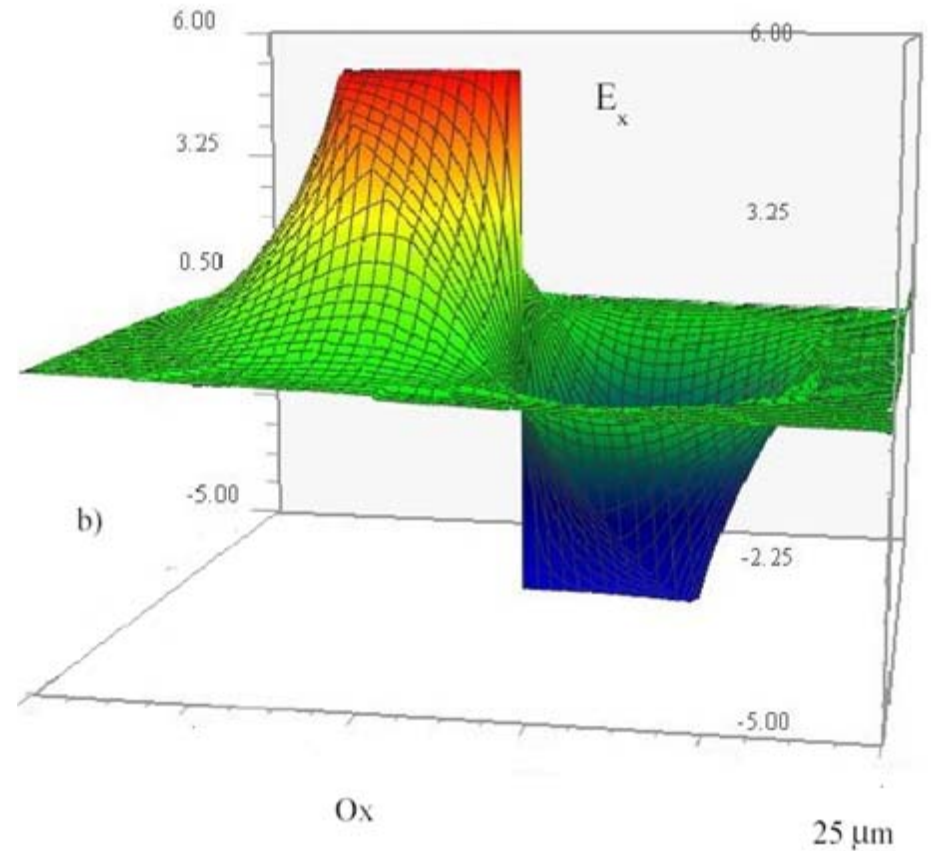
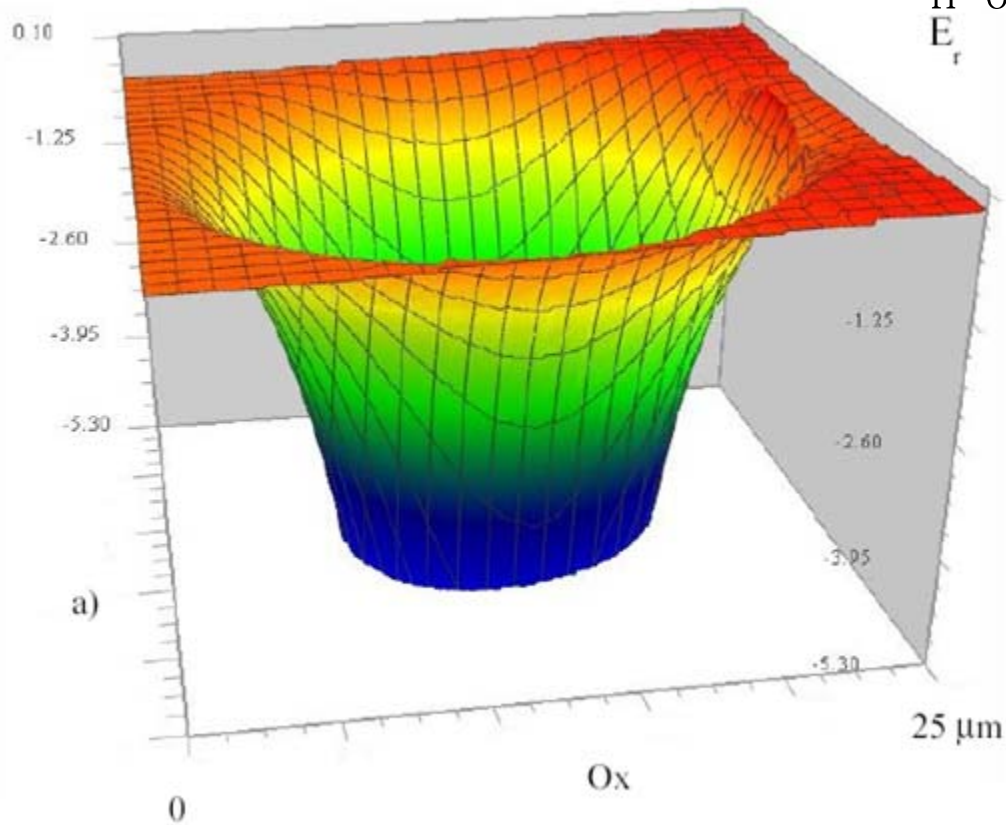
Пространственное распределение заряда (a) и
проекция напряженности поля на ось O_x (b).
Область 1. Внешнее электрическое поле $E_0 = 0$,
расстояние между сферами 80 мкм.

Пространственное распределение заряда и напряженности электрического поля



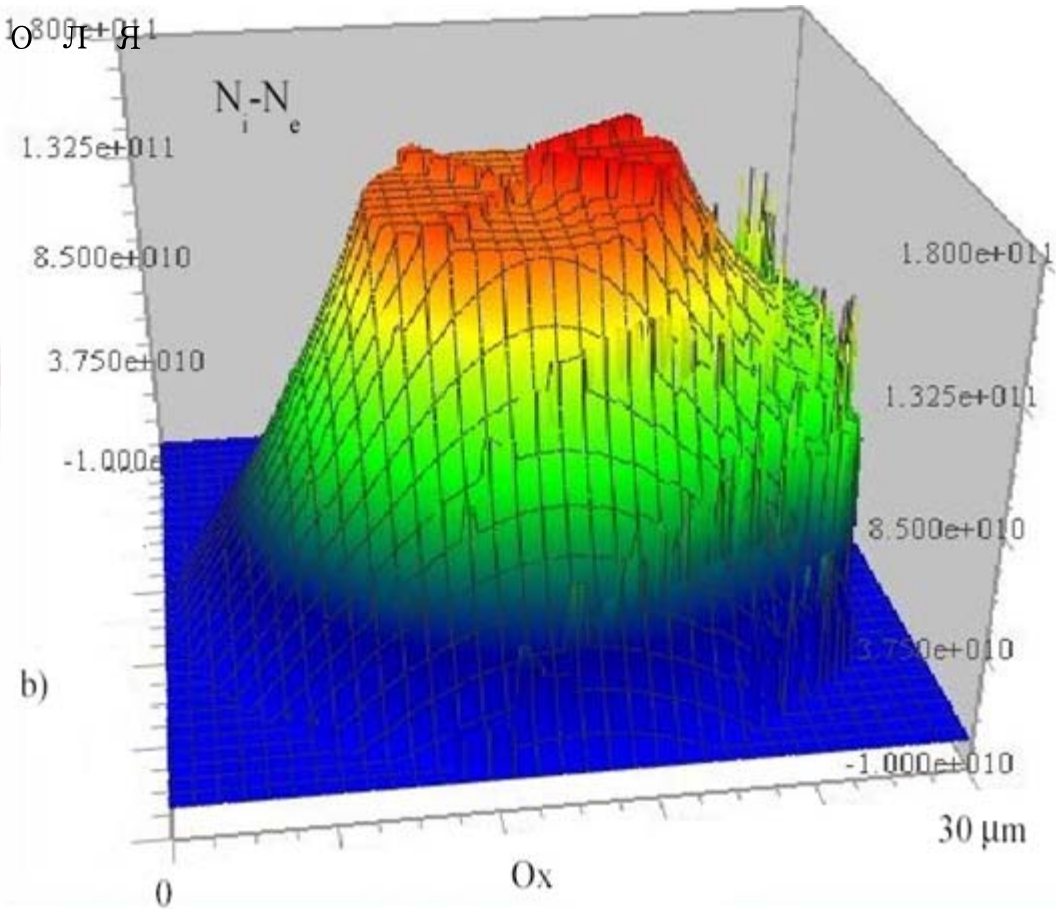
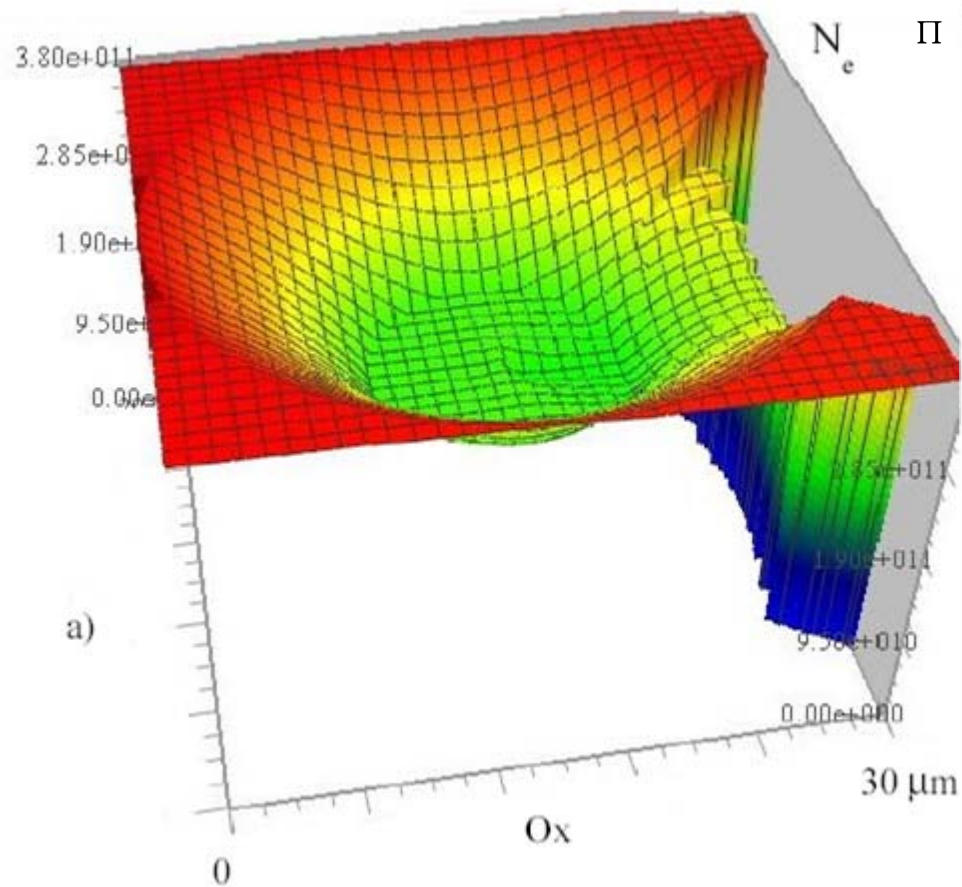
Пространственное распределение заряда
в области **1 (a)** и в области **2 (b)**. Внешнее
электрическое поле $E_0 = 0$, расстояние между
сферами **40 мкм**.

Пространственное
распределение заряда и
напряженности электрического
поля



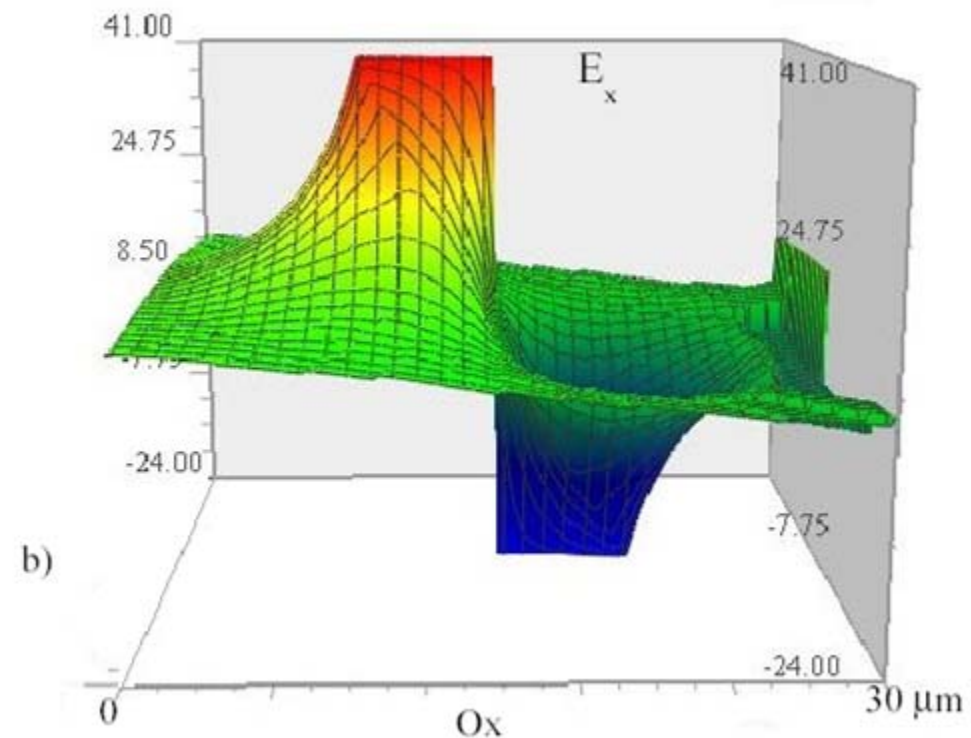
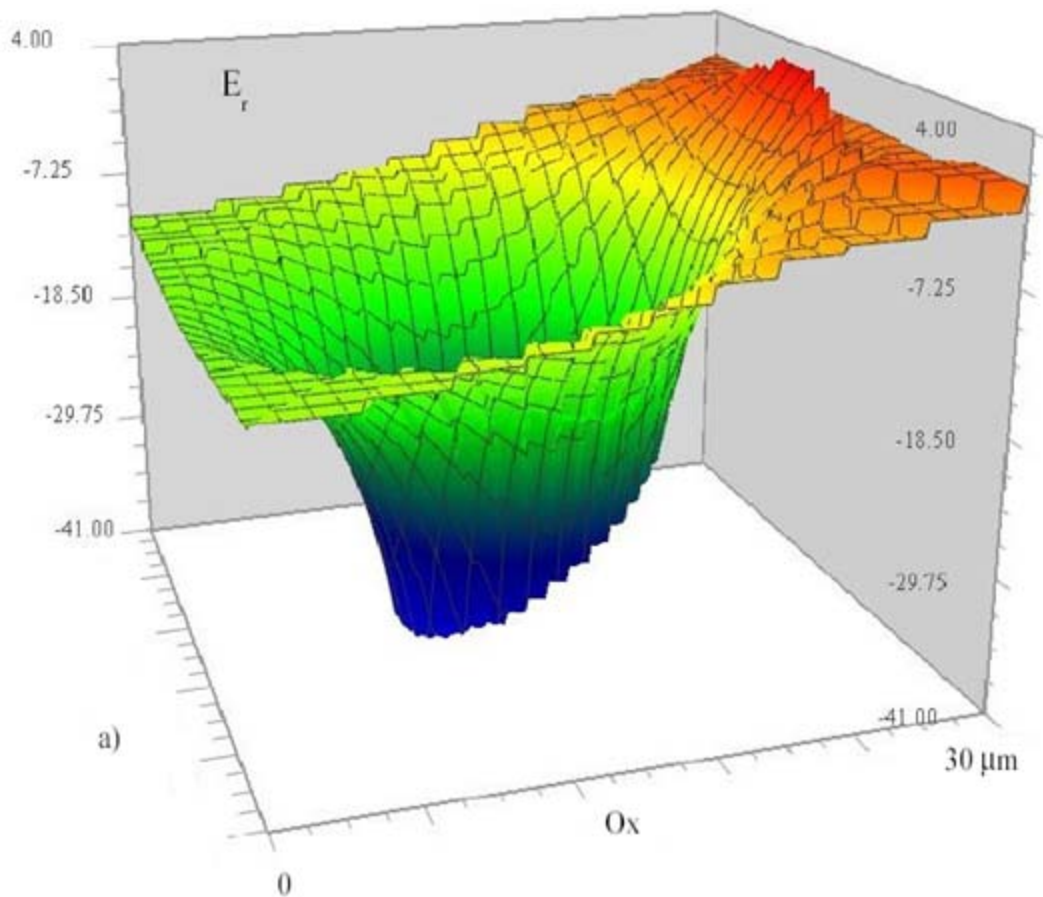
Пространственное распределение радиальной компоненты электрического поля (a) и проекции напряженности поля на ось Ox (b). Область 1. Внешнее электрическое поле $E_0 = 0$, расстояние между сферами 40 мкм

Пространственное
распределение заряда и
напряженности электрического



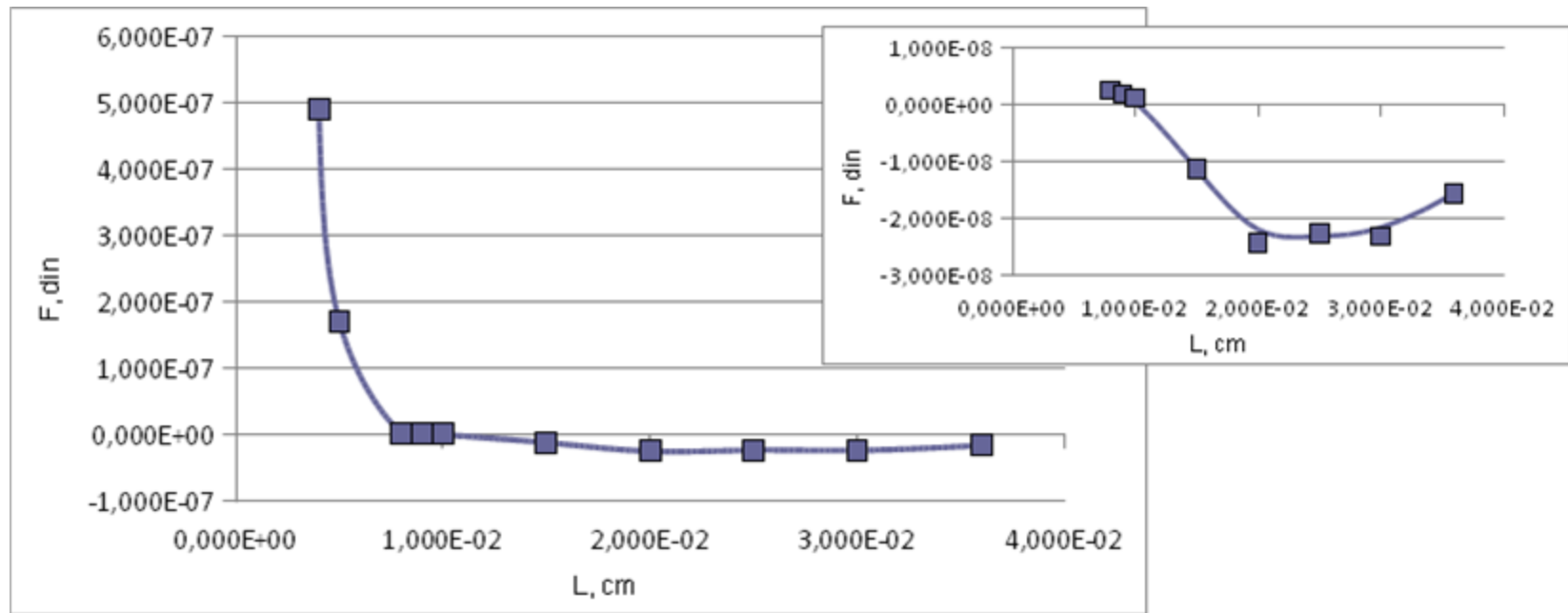
Пространственное распределение
плотности электронов (a) и распределение
заряда (b). Область 1. Внешнее электрическое
поле $E_0 = 1200 \text{ В/см}$, расстояние между сферами 50

Пространственное распределение заряда и напряженности электрического поля



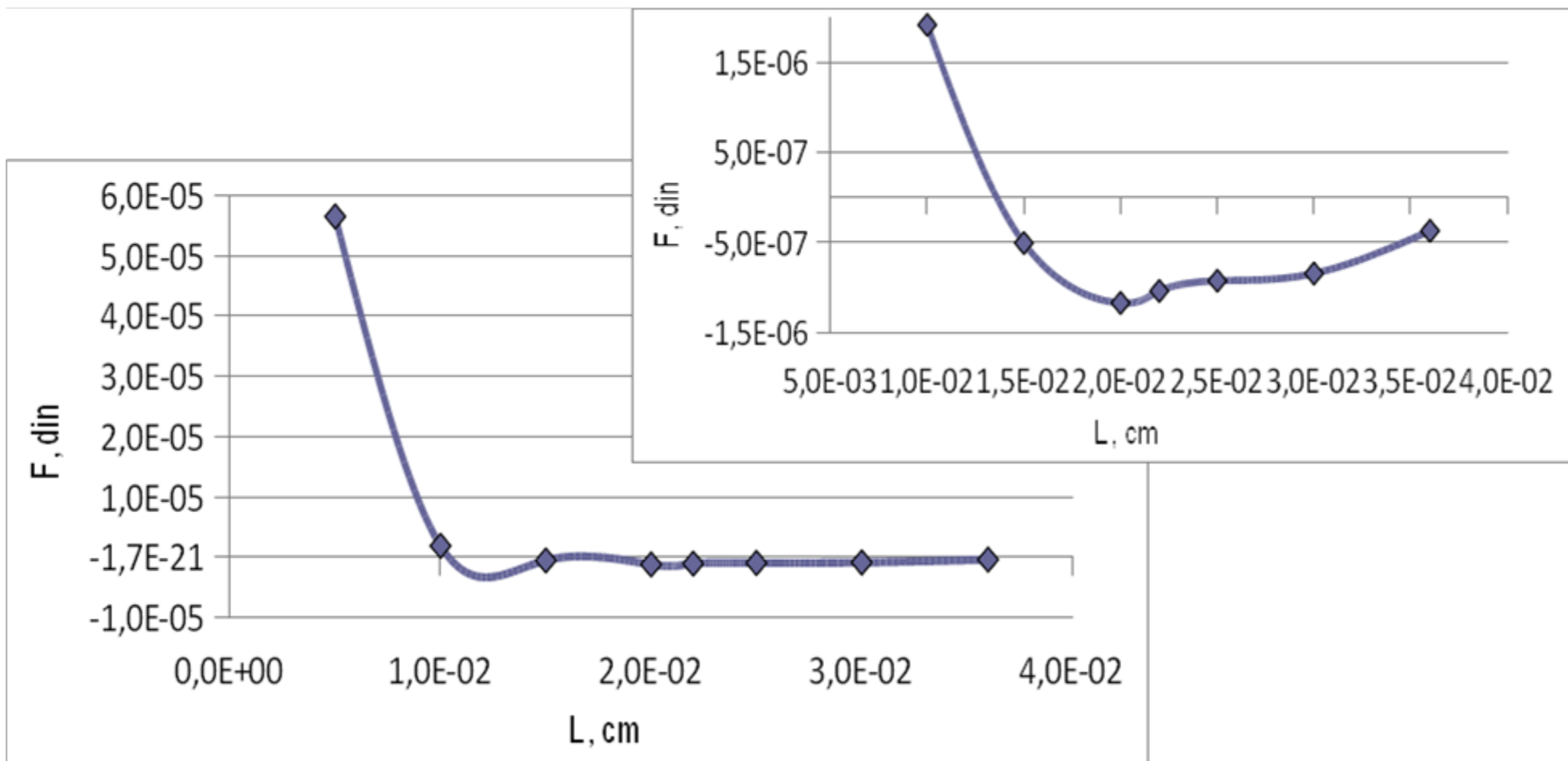
Пространственное распределение
радиальной компоненты электрического
поля (a) и проекции напряженности поля на
ось Ox (b). Область 1. Внешнее зарядное поле

З а в и с и м о с т ь с и л ы
в з а и м о д е й с т в и я д в у х п ы л е в ы х
ч а с т и ц о т р а с с т о я н и я м е ж д у
ц е н т р а м и с ф е р



Д а в л е н и е г а з а 1 б а р , р а д и у с с ф е р $R_d = 12$ м к м ,
р а в н о в е с н а я п л о т н о с т ь п л а з м ы $3,6 \cdot 10^{11}$ с м $^{-3}$.
В н е ш н е е э л е к т р и ч е с к о е п о л е $E_0 = 0$.

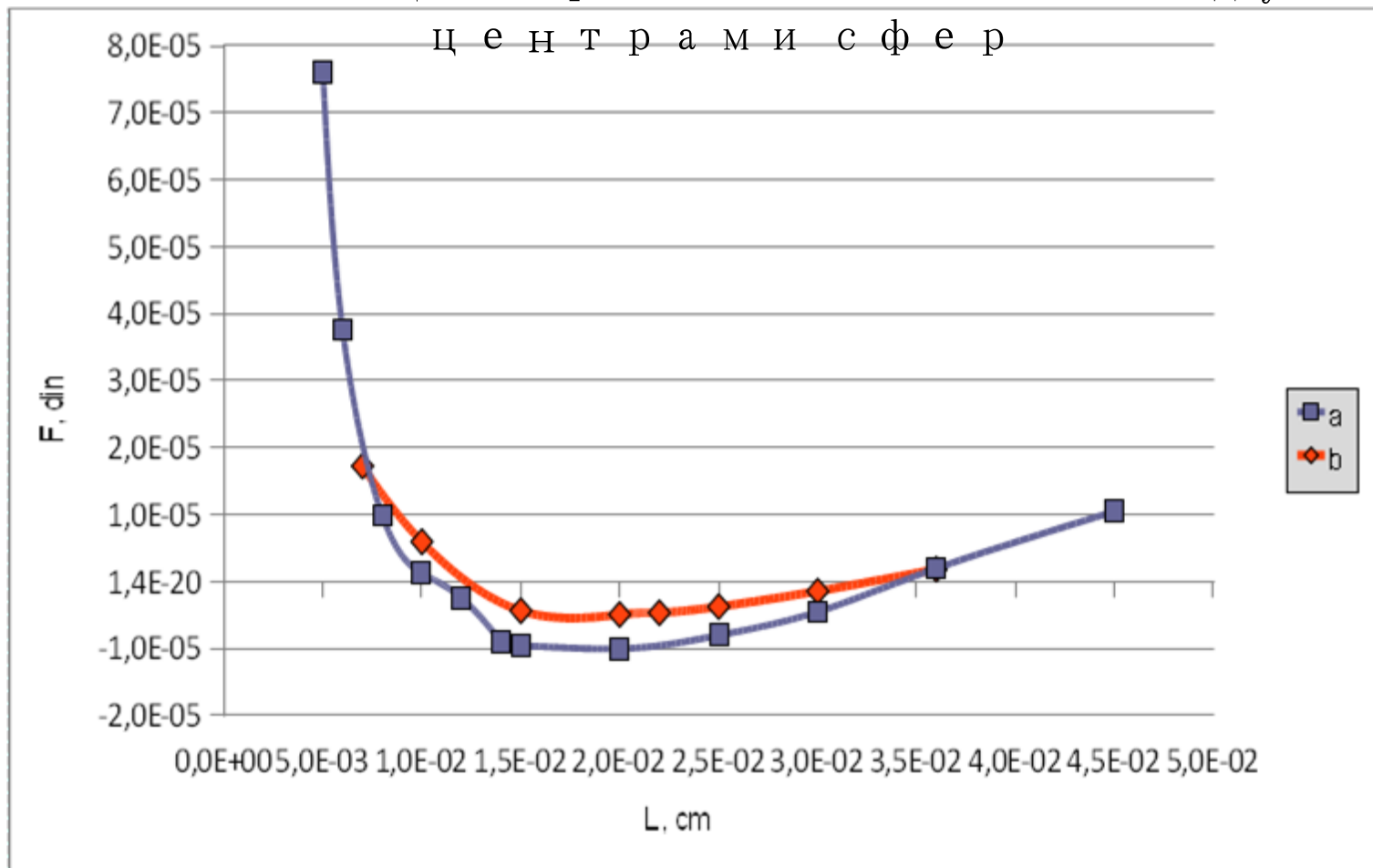
З а в и с и м о с т ь с и л ы в з а и м о д е й с т в и я
д в у х п ы л е в ы х ч а с т и ц о т р а с с т о я н и я
м е ж д у ц е н т р а м и с ф е р



Д а в л е н и е г а з а **1** б а р , р а д и у с с ф е р $R_d = 12$ м к м ,
р а в н о в е с н а я п л о т н о с т ь п л а з м ы $3.6 \cdot 10^{11}$ с м $^{-3}$.

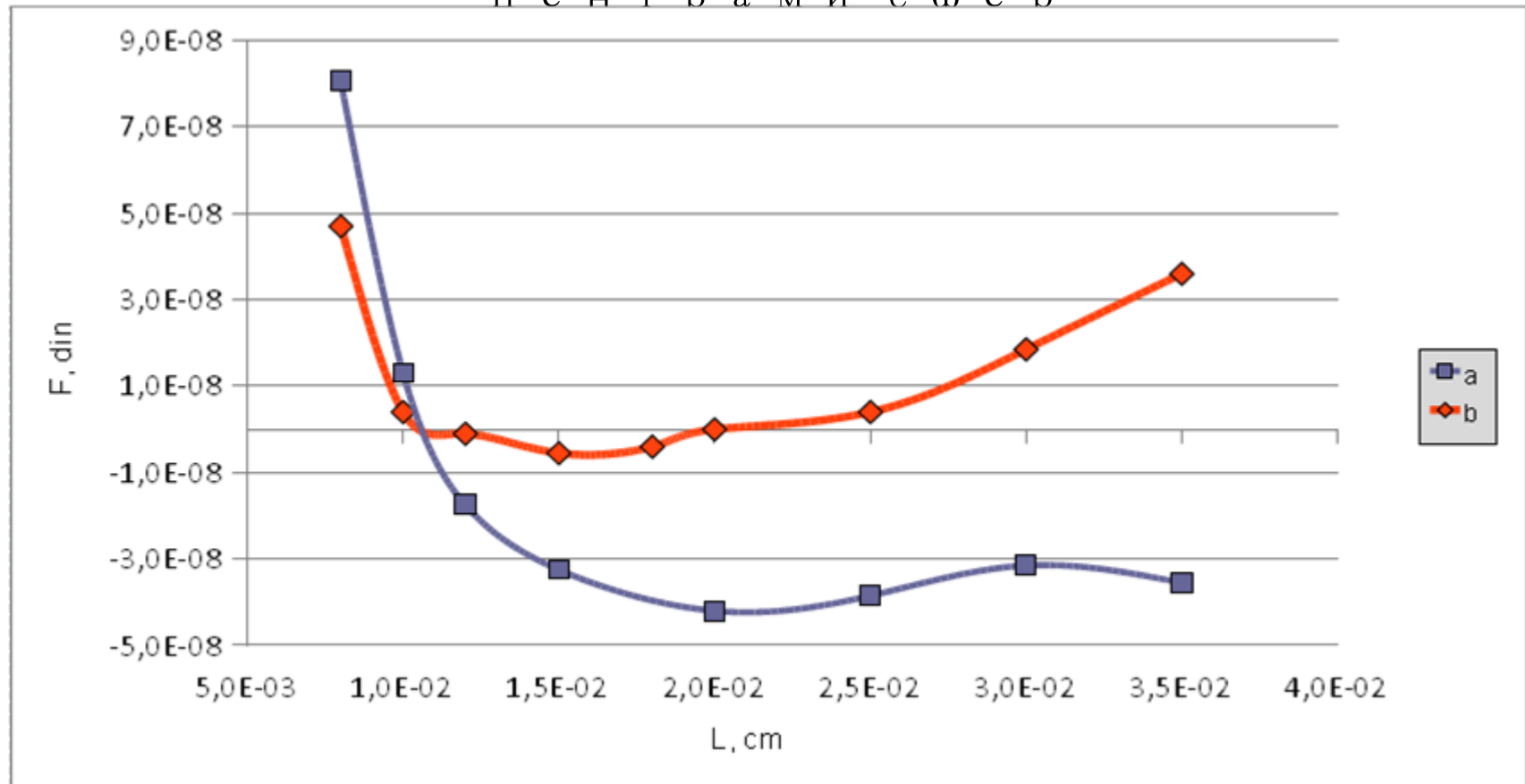
В н е ш н е е э л е к т р и ч е с к о е п о л е $F_e = 30$ В / с м .

Зависимость силы взаимодействия двух пылевых частиц от расстояния между центрами сфер



Д а в л е н и е г а з а 1 б а р , р а д и у с с ф е р $R_d = 12$ мк м ,
 р а в н о в е с н а я п л о т н о с т ь п л а з м ы $3.6 \cdot 10^{11}$ с м $^{-3}$.
 В н е ш н е е э л е к т р и ч е с к о е п о л е : а) $E_0 = 1200$ В / с м , б) $E_0 =$
 600 В / с м

Зависимость силы взаимодействия двух пылевых частиц от расстояния между центрами сфер



Давление газа $0,1$ бар, радиус сфер $R_d = 10$ мкм. Внешнее электрическое поле $E_0 = 90$ В/см. Равновесная плотность плазмы: а) $1.1 \cdot 10^{10}$ см $^{-3}$, б) $5.7 \cdot 10^9$ см $^{-3}$.

З а к л ю ч е н и е

- В широкой области параметров низкотемпературной плазмы моделируется притяжение отрицательно заряженных пылевых частиц. Природа силы взаимодействия объясняется поляризацией пылинок и
- Силовое взаимодействие зарядов в условиях плотной низкотемпературной плазмы