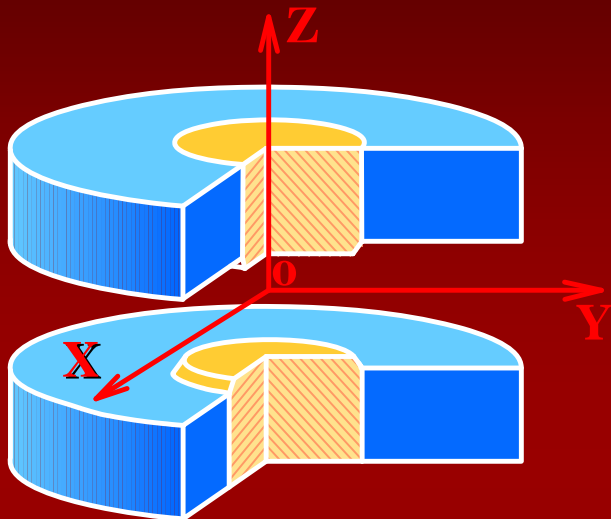


Изучение кулоновских кластеров диамагнитных макрочастиц в неоднородном магнитном поле в лабораторных условиях и в условиях микрогравитации.

Фортов В.Е., Петров О.Ф., Васильев М.М., Дьячков Л.Г., Тимирханов Р.А., Гавриков А.В.,
Савин С.Ф., Чурило И.В., Калерии А.Ю., Скрипочка О.И., Юрчихин Ф.Н.

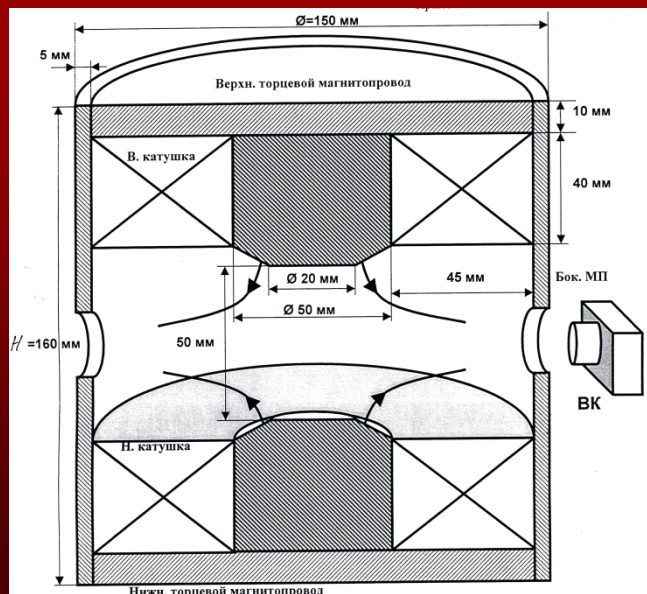
ЭЛЕМЕНТЫ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА «КУЛОНОВСКИЙ КРИСТАЛЛ»

Магнитная ловушка антипробкотронного типа



Магнитное поле создается между двумя электромагнитами. Токи в катушках этих электромагнитов циркулируют в противоположных направлениях

Точка O – точка устойчивого равновесия для диамагнитных частиц ($\chi < 0$)



ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Частицы:

Графит

Диаметр частиц 100 мкм

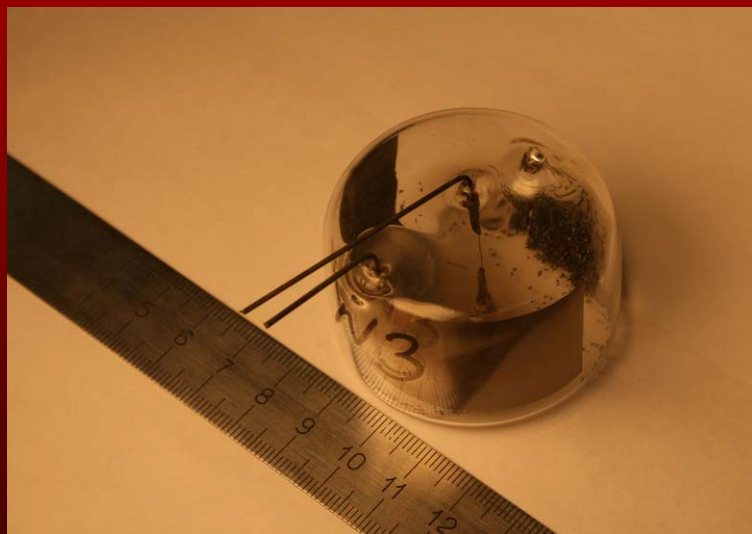
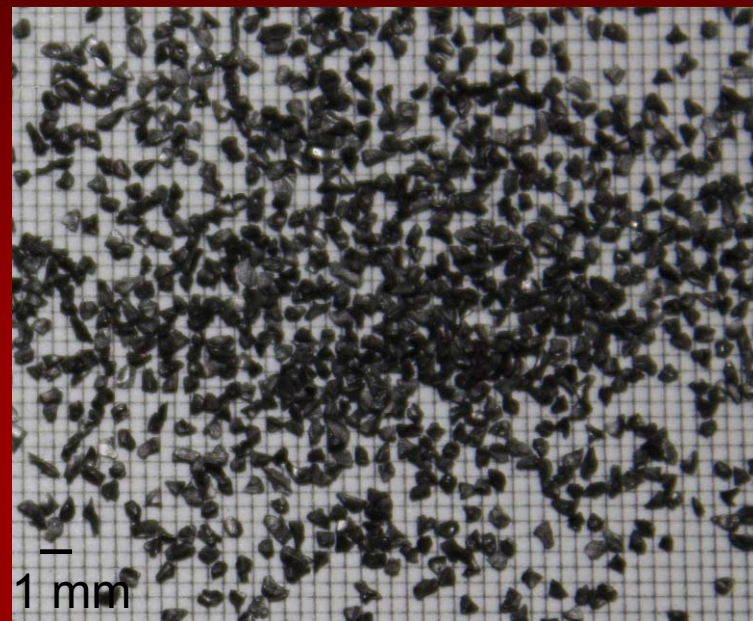
200 мкм

300 мкм

400 мкм

Диаманитная восприимчивость

$$\chi = 3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$$



Ампула:

Диаметр 52 мм

Высота 40 мм

Газ аргон, 1 атм.

Диаметр центрального электрода
200 мкм

Напряжение на электродах 24 В

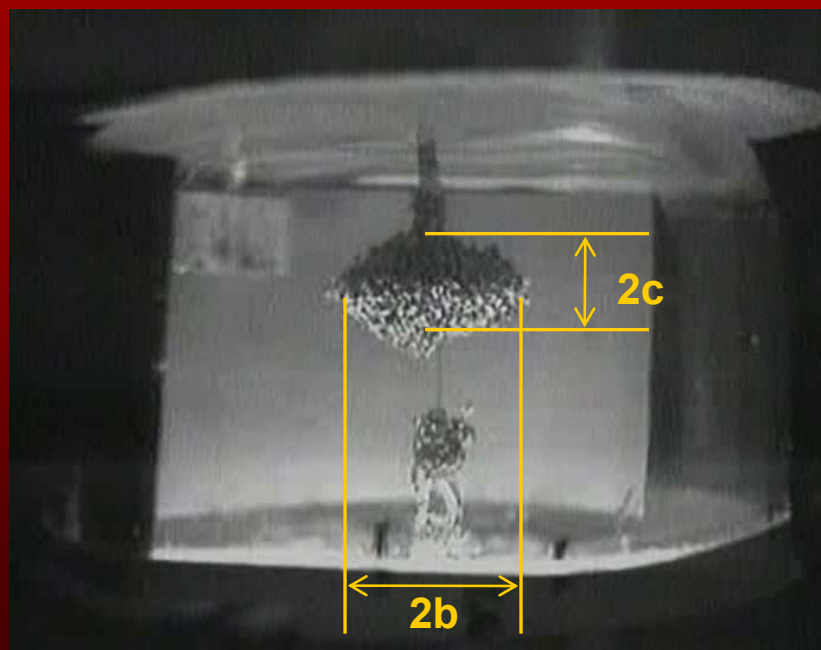
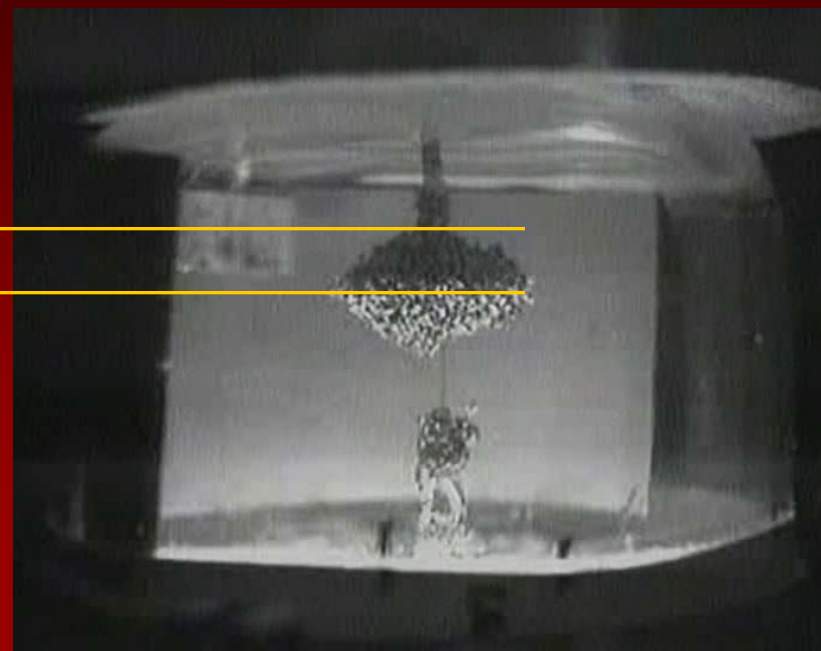
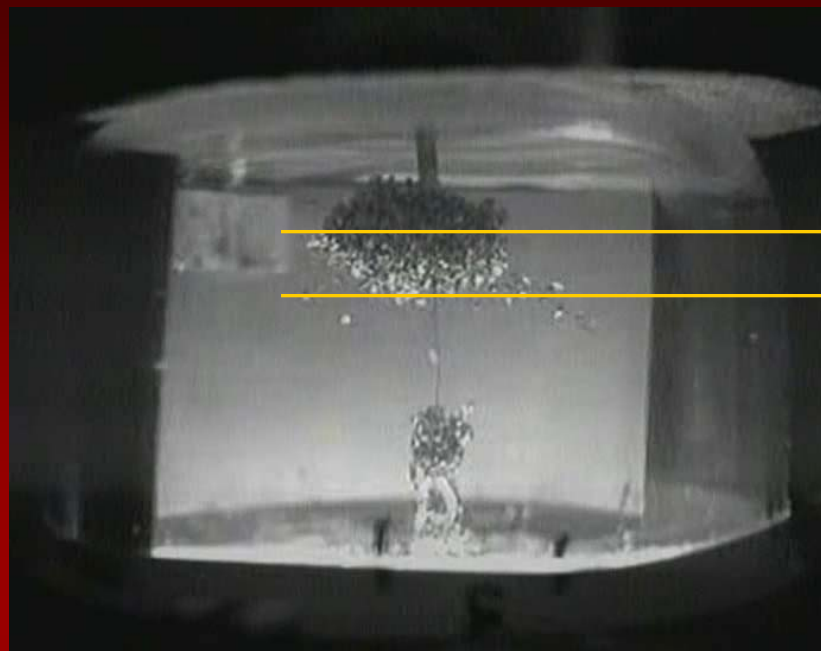
МАГНИТНАЯ ЛОВУШКА



КОЛЕБАНИЯ КЛАСТЕРА



КОЛЕБАНИЯ КЛАСТЕРА



КОЛЕБАНИЯ:

Амплитуда

$A = 0,4 \text{ см}$

Период

$T = 6,8 \text{ с}$

Постоянная затухания

$\delta = 0,1 \text{ с}^{-1}$

РАЗМЕРЫ КЛАСТЕРА:

$2c = 0,6 \text{ см}$

$2b = 1,1 \text{ см}$

КОЛЕБАНИЯ КЛАСТЕРА

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\omega_0^2 = \chi \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)_0^2$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)_0 = 600 \text{ Гс/см}$$

$$\chi_{\text{эксп.}} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$$

$$\chi_{\text{графита}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$$

$$\delta = \frac{\beta}{2m}$$

$$\delta_{\text{эксп.}} = 0,1 \text{ с}^{-1}$$

Кластер

$$\beta = 6\pi b\eta = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

$$b = 0,5 \text{ см}$$

$$\eta = 22,5 \cdot 10^{-5} \text{ дин/см}^2$$

$$m_{\text{кластера}} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ г}$$

$$\frac{m_{\text{кластера}}}{m_d} \approx 6$$

Отдельная частица

$$\beta = 6\pi r_d \eta = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

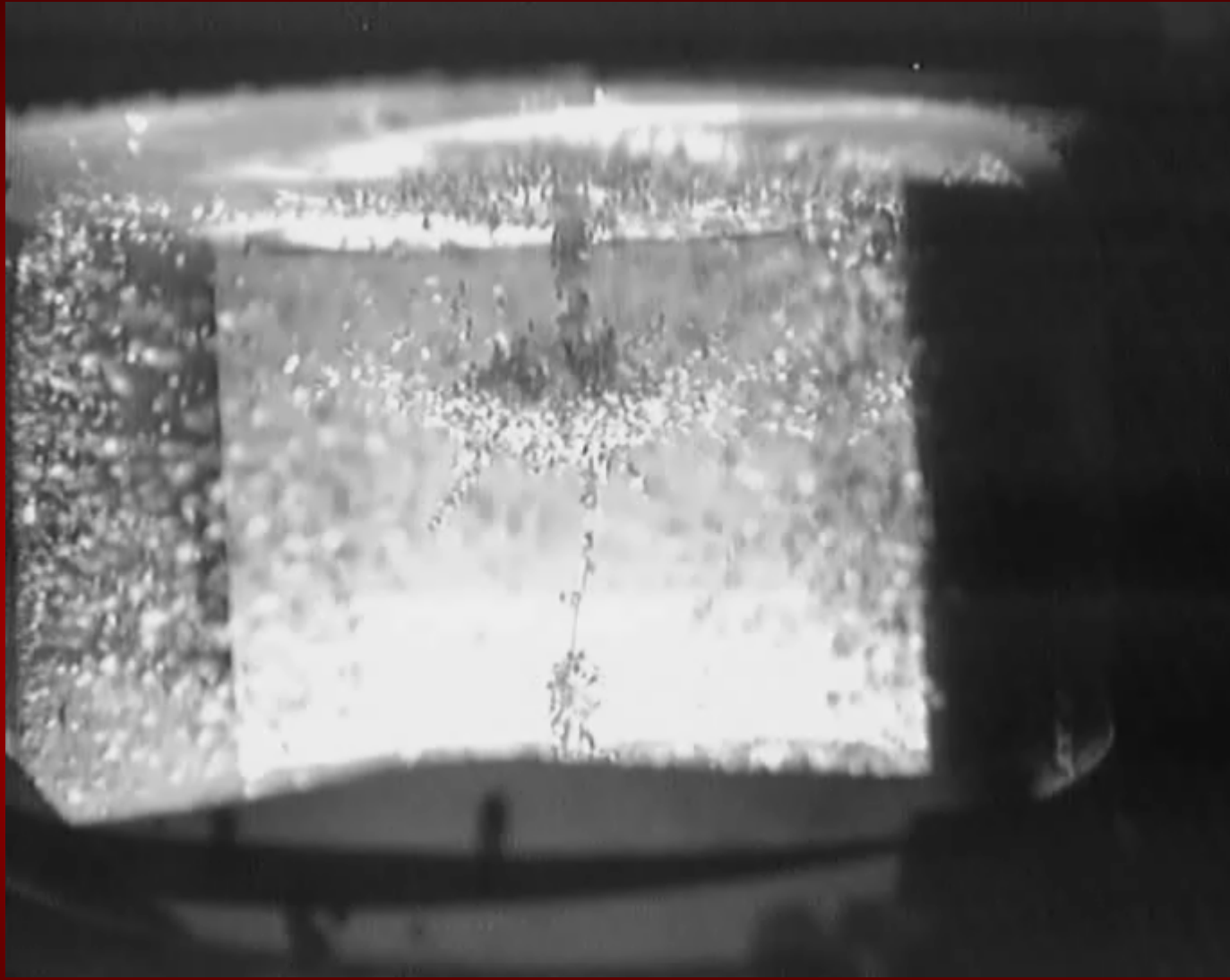
$$r_d = 200 \text{ мкм}$$

$$m_d = 3 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

$$\delta_{\text{теор.}} = \frac{\beta}{2m_d} = 0,03 \text{ с}^{-1}$$

Кластер – «рыхлая» структура

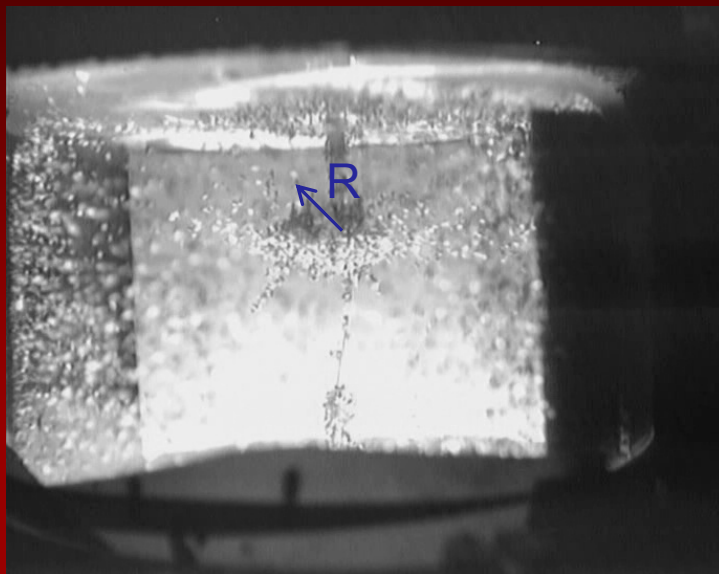
ОЦЕНКА ЗАРЯДА НА ЧАСТИЦАХ



Полярность:
на центральном электроде «+»

Диаметр частиц:
300 мкм

ОЦЕНКА ЗАРЯДА НА ЧАСТИЦАХ



Количество частиц в кластере

$N=2000$

**Расстояние от центра кластера
до анализируемой частицы**

$R = 0,38$ см

ОЦЕНКА ЗАРЯДА НА ЧАСТИЦАХ

$$F_{\text{магн.}} = F_{\text{эл.}}$$

$$F_{\text{магн.}} = m_d \cdot \chi \cdot \left(\frac{\partial B}{\partial r} \right)_0^2 \cdot R = 10^{-4} \text{ дин}$$

$$F_{\text{эл.}} = \frac{Nq_d^2}{R^2} + \frac{2\alpha}{R} q_d$$

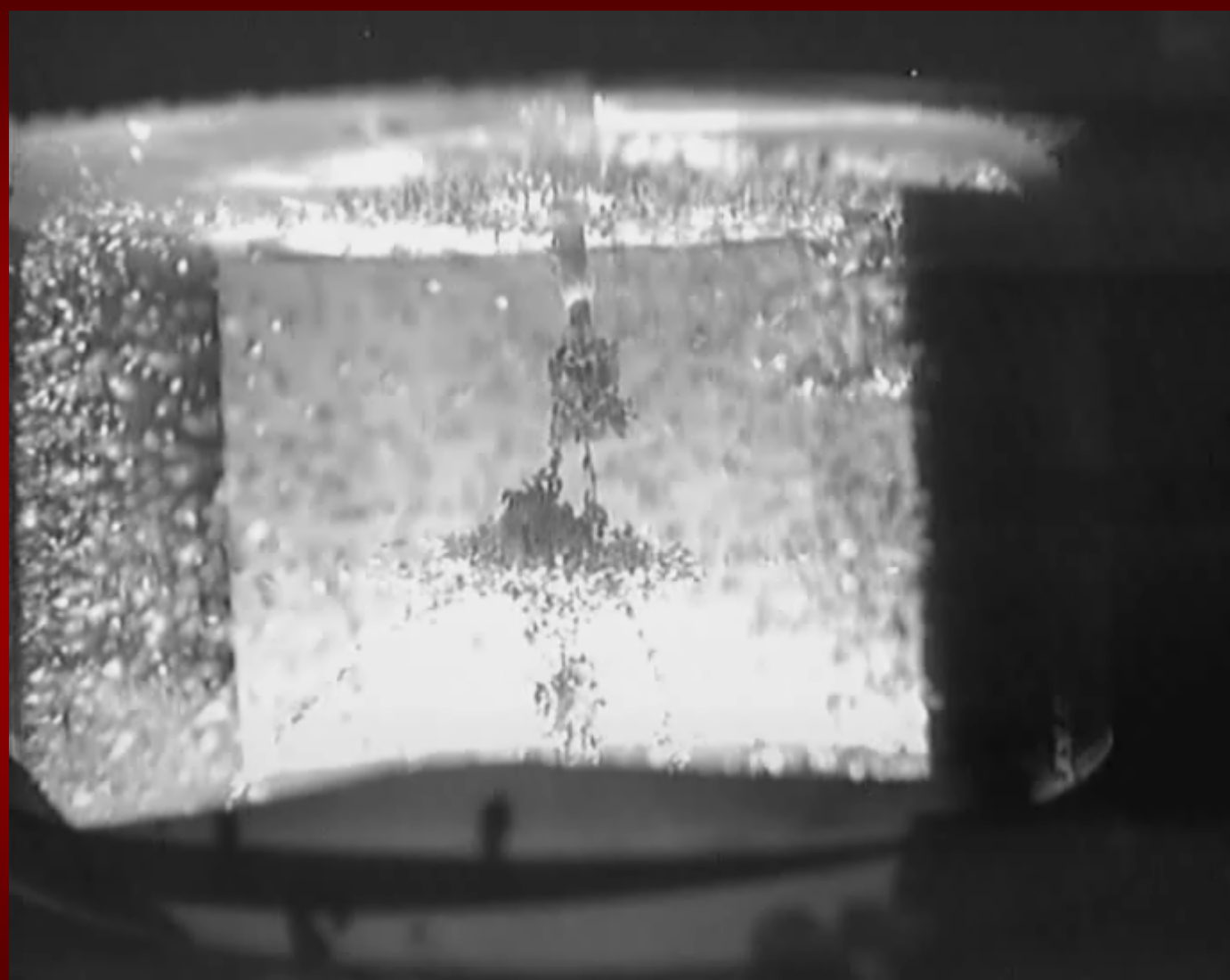
$$2\alpha = \frac{U}{\ln\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ СГС}$$

$U=24\text{В}$ – напряжение между электродами
 $r_1 = 100 \text{ мкм}$ – радиус центрального электрода
 $r_2 = 2 \text{ см}$ – радиус внешнего электрода

$$q_d = 2 \cdot 10^5 e$$

$$q_{\text{на микрон}} \approx 600 e$$

$$\varphi_d \sim 1\text{В}$$



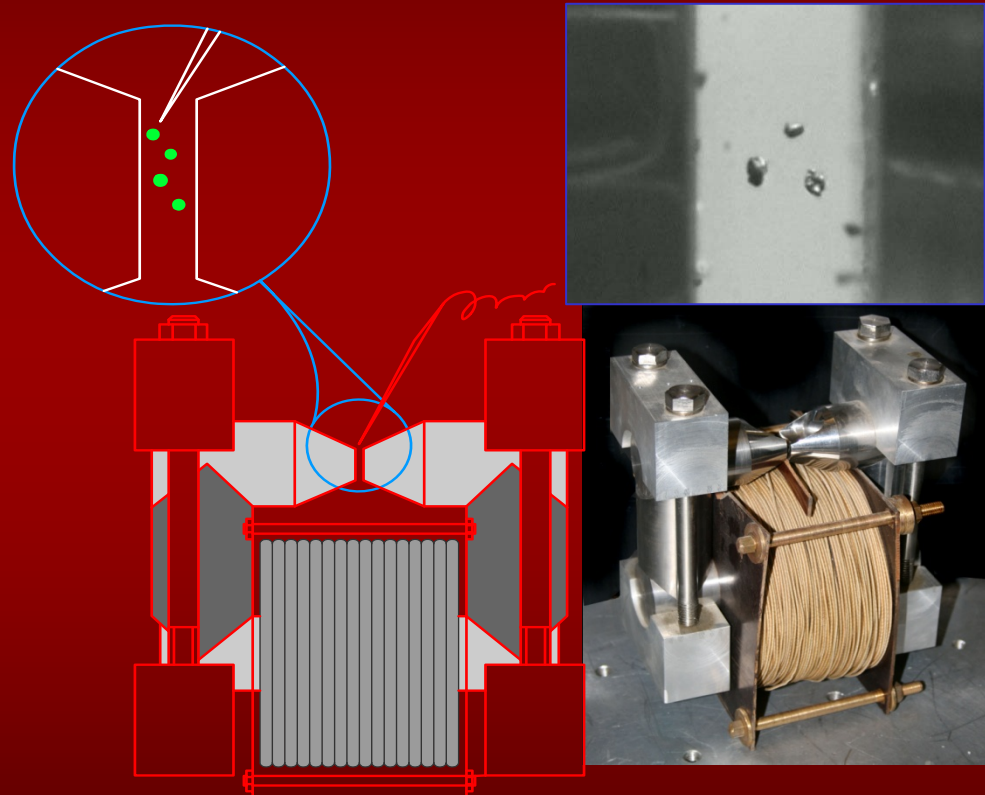
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **Продемонстрирована работоспособность магнитной ловушки (на МКС)**
- **Исследованы колебания кластера диамагнитных частиц в магнитной ловушке**
- **Оценен заряд, приобретаемый частицами кластера**

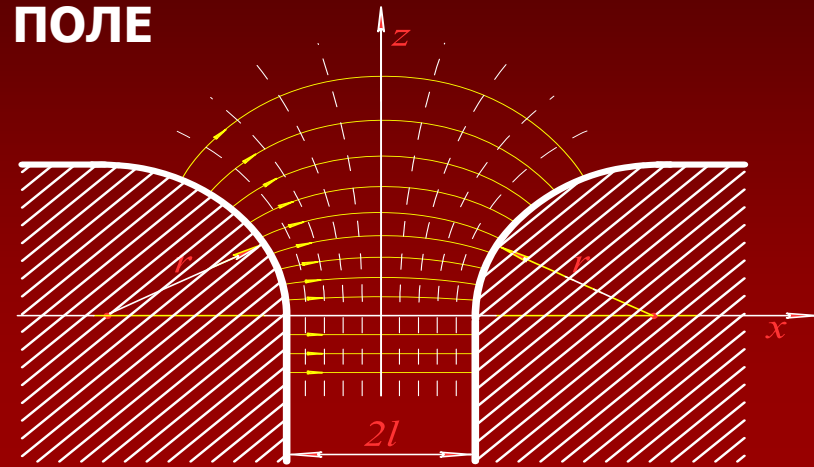
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Лабораторные эксперименты

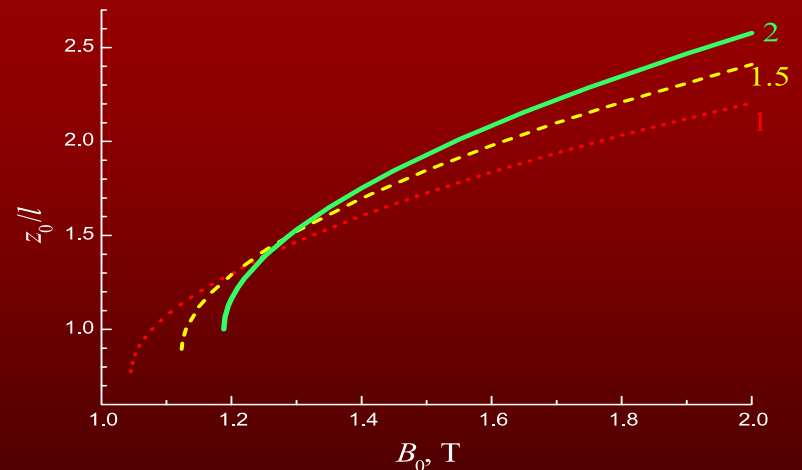
ФОРМИРОВАНИЕ КУЛОНОВСКИХ КЛАСТЕРОВ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ



Графитовые частицы диаметром $d \sim 100$ мкм и $U > 30$ В



Сечение зазора между полюсными наконечниками.
Силовые линии и эквипотенциали



Зависимость точки устойчивого равновесия от B_0 для $\chi = 3 \cdot 10^{-6}$ см³/г, $l = 0.1$ см и $r/l = 1, 1.5$ and 2