

**Плазменно-пылевые структуры
в магнитных полях
в стратах тлеющего разряда
постоянного тока**

***М.М. Васильев, Л.Г. Дьячков,
С.Н. Антипов, О.Ф. Петров***

Объединенный Институт Высоких Температур РАН

В предыдущих работах

ВЧ и разряды постоянного тока

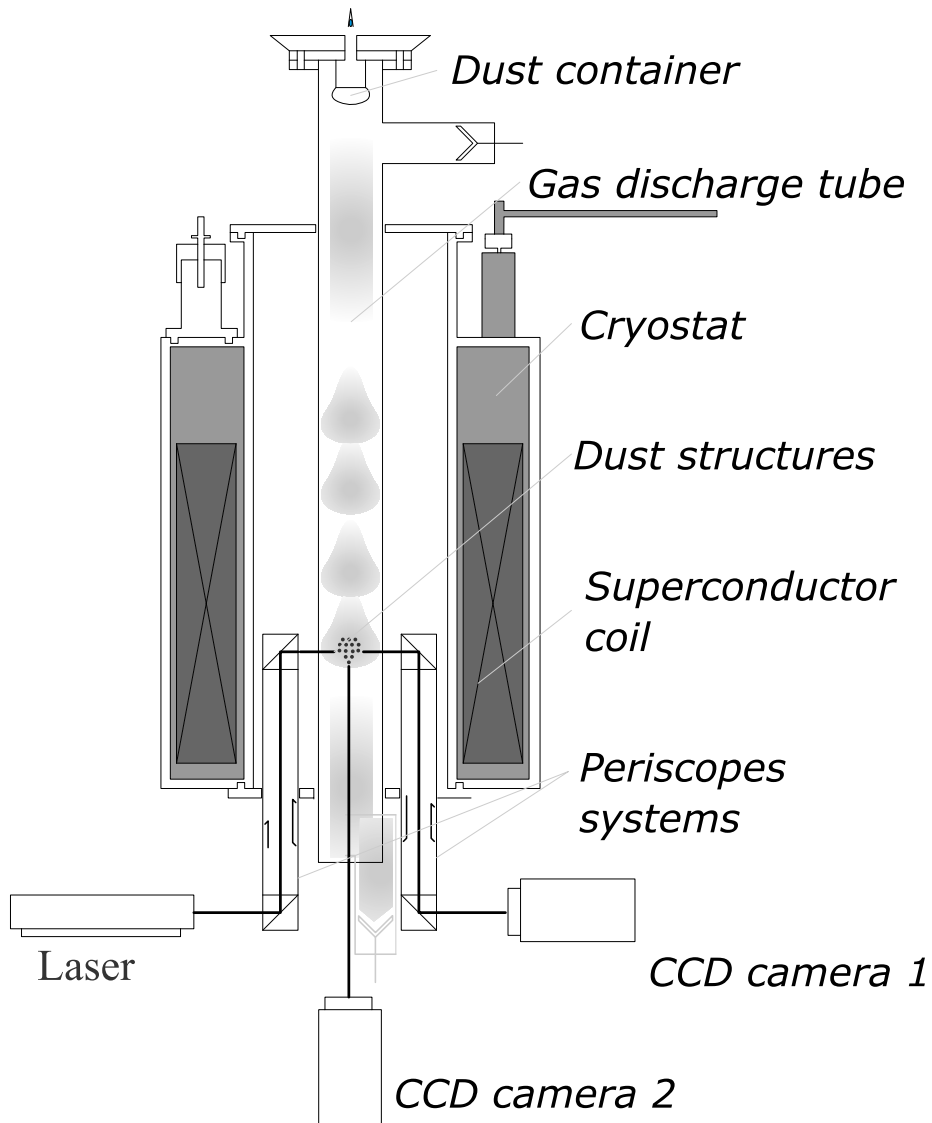
$$B < 400 \text{ Гс}$$

Нестабильность разрядов постоянного тока в полях

$$B \geq 1000 \text{ Гс}$$

Вращение ППС в вертикальном магнитном поле

Механизм вращения???



Схематическое изображение экспериментальной установки: криостат сверхпроводящего магнита, в который помещена газоразрядная трубка, и система визуализации, включающая подсветку лазерным ножом или пучком и две видеокамеры

Основные результаты экспериментов

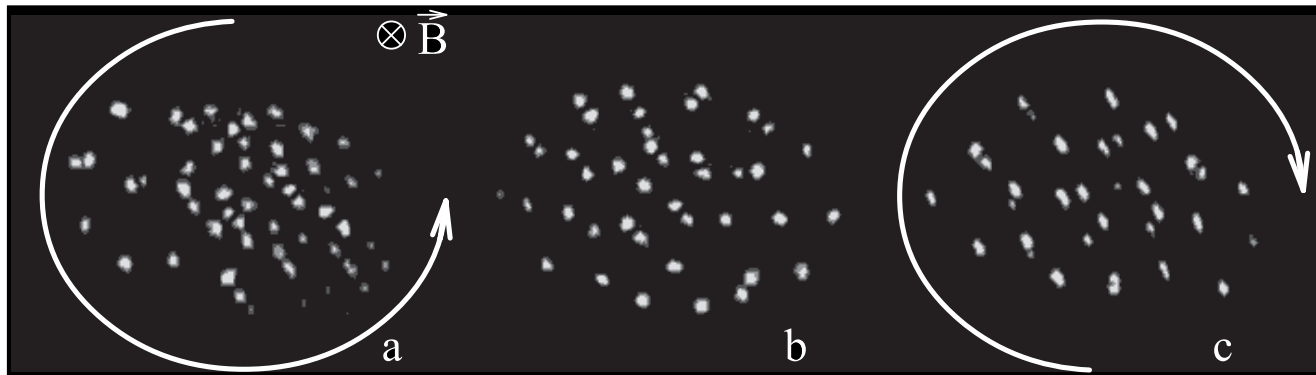
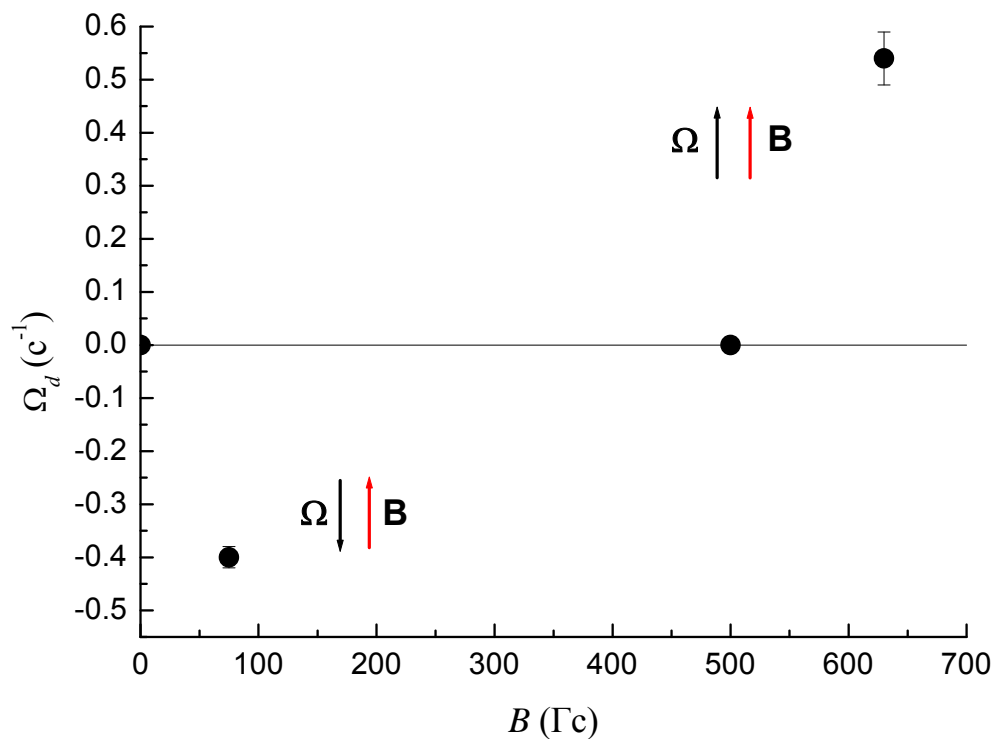
$V_{\max} = 2500$ Гс в водороде при давлении
несколько десятых долей Торра

ППС наблюдались при $V < 1000$ Гс и
представляли собой плоские монослои,
состоящие из малого количества частиц

Объемные ППС ($\sim 10^2$ частиц) наблюдались в
неоне

Скорость и направление вращения зависят от V

Угловая скорость вращения пылевой структуры



Повышение индукции аксиального поля до 700 Гс приводит к распаду структуры и смещению частиц из приосевой области разряда к его периферии – к стенкам разрядной трубки.

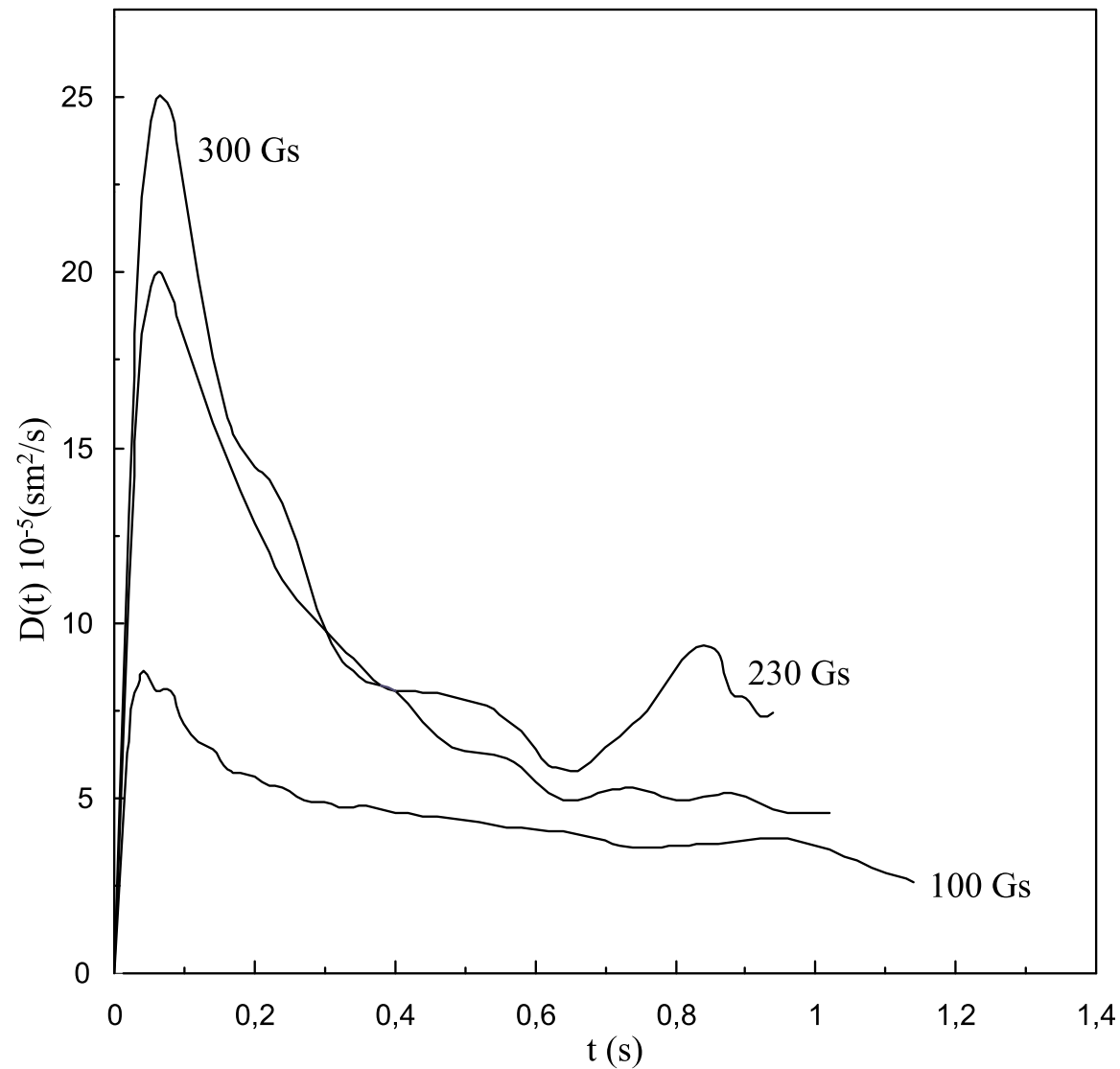
При этом угловая скорость вращения частиц не изменяется и составляет 1-2 рад/с

Структуры с $\sim 10^3$ частиц

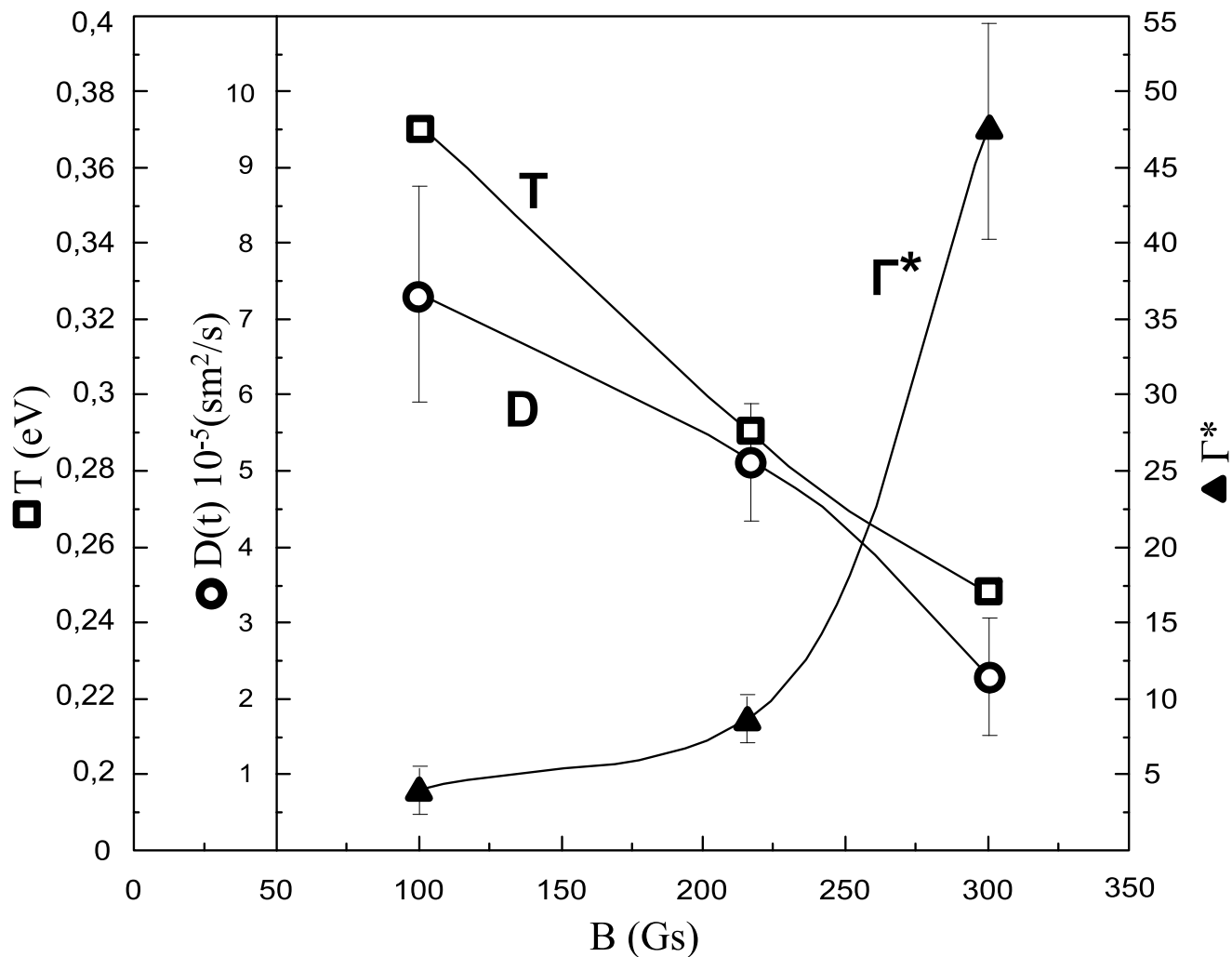
Объемные структуры, содержащие $\sim 10^3$ частиц получены в экспериментах с неоном в полях до 300 Гс, при этом их **вращение не наблюдалось**.

По изменению положения частиц на последовательных видеокдрах были вычислены кривые массопереноса и определены **кинетическая температура, коэффициент диффузии и эффективный параметр неидеальности**.

Кривые массопереноса



Кинетическая температура, коэффициент диффузии и эффективный параметр неидеальности ППС



Анализ вращения ППС

Вращение пылевых частиц происходит под действием сил ионного увлечения. Ионы совершают азимутальный дрейф в скрещенных аксиальном магнитном и радиальном электрическом полях.

При равномерном вращении сила ионного увлечения уравновешивается силой трения о нейтральный газ атомов

$$F_i = F_a$$

$$F_i = -\frac{8}{3} \sqrt{2\pi T_i m_i} a^2 n_i \left(1 + \frac{1}{2} z\tau + \frac{1}{4} z^2 \tau^2 \Pi \right) u_i \quad F_a = -\frac{8}{3} \sqrt{2\pi T_a m_a} a^2 n_a u_a$$

$$\tau = T_e / T_i; \quad z = |Z_d| e^2 / a T_e \quad \Pi = 2 \int_0^\infty e^{-x} \ln \left(\frac{2\lambda_D / a + z\tau}{2x + z\tau} \right) dx$$

$$\Omega_d \approx \frac{n_i}{n_a} \left(1 + \frac{1}{2} z\tau + \frac{1}{4} z^2 \tau^2 \Pi \right) \Omega_i$$

$$\Omega_i(r) = \frac{u_i(r)}{r} = - \frac{cE_r(r)}{rB \left(1 + \frac{v_{ia}^2}{4\omega_{iB}^2} \right)}$$

$$E_r(r) = - \frac{T_e}{e} \frac{1 - 2 \frac{T_i}{T_e} \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}}}{\left(1 + 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}} \right)} \frac{1}{n_i(r)} \frac{dn_i}{dr}$$

$$\omega_{iB} = \frac{eB}{cm_i}$$

$$\Omega_d \approx \frac{4T_e \omega_{iB}}{m_i v_{ia}^2} \left(1 + \frac{1}{2} z\tau + \frac{1}{4} z^2 \tau^2 \Pi \right) \frac{1 - 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{\tau v_{ia} v_{ea}}}{\left(1 + 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}} \right) \left(1 + 4 \frac{\omega_{iB}^2}{v_{ia}^2} \right)} \frac{dn_i / dr}{rn_a(r)}$$

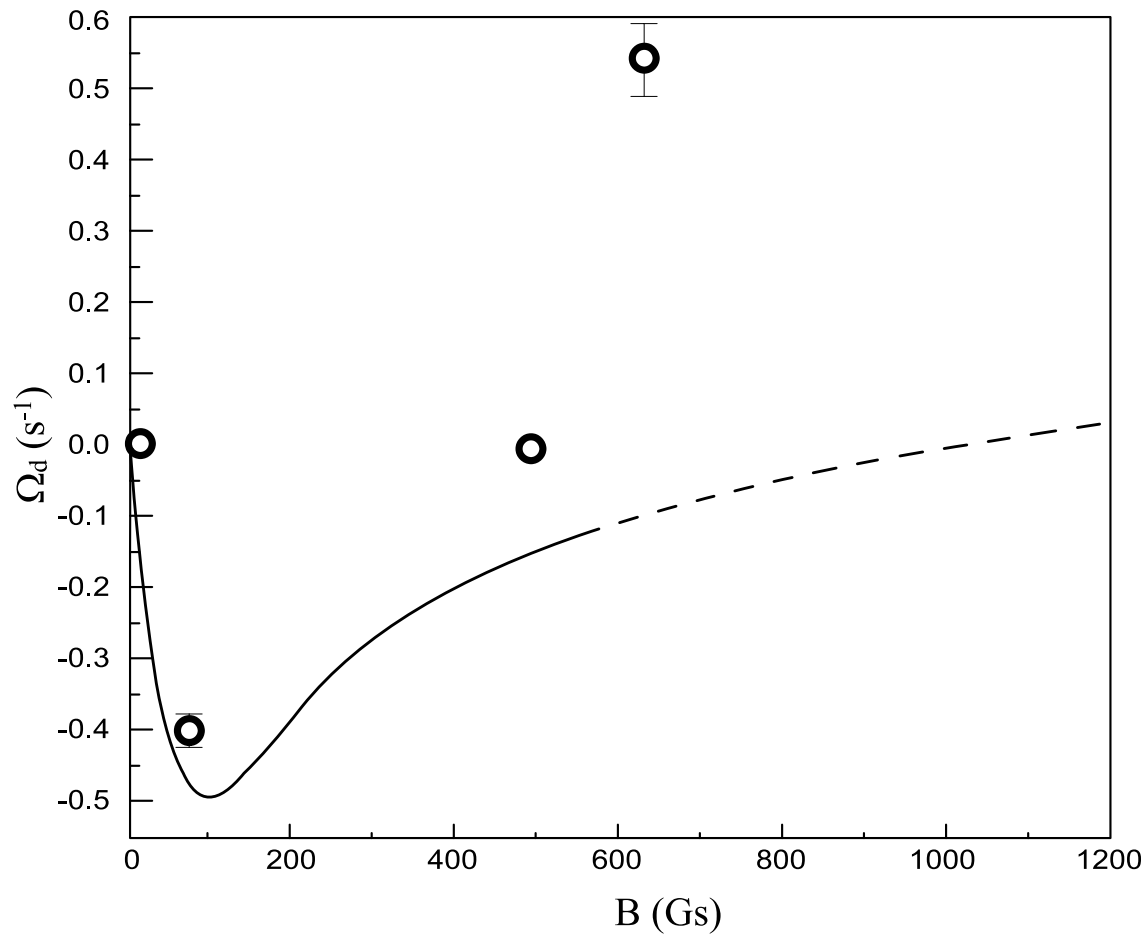
$$\frac{dn_i}{dr} \approx -0.128r$$

$(r < 0.2 \text{ cm})$

$$T_e \approx 3 \text{ eV}, T_i \approx 300 \text{ K}, v_{ia} \sim 10^6 \text{ c}^{-1}, v_{ea} \sim 10^8 \text{ c}^{-1},$$

$$n_a \approx 8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}. z \sim 1$$

$$\Omega_d \approx -10^{-2} B \frac{1 - 10^{-6} B^2}{1 + 10^{-4} B^2} \quad B \ll 10^2 \text{ Gc}$$



Смена знака градиента dn_i/dr

$$I_0 = -2\pi r h D_{Ar} \frac{dn_i}{dr} \quad D_{Ar} = \frac{T_e + T_I}{\mu_{ia} v_{ia} \left(1 + 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}} \right)}$$

$$I_d = \sqrt{8\pi T_i / m a^2 n_i (1 + z\tau)} N_d \quad N_d = \pi r^2 h l_p^{-3}$$

$$l_p \approx 0.3 \text{ мм}$$

$$I_0 = I_d$$

$$B \approx 300 \text{ Гс}$$

При $B \approx 1000$ Гс стенки заряжаются положительно, и пылевые частицы залипают на них

Спасибо за внимание