

**Влияние нейтрального газа на  
инверсию вращения  
плазменно-пылевых структур в  
стратах тлеющего разряда в  
аксиальном магнитном поле**

**Л.Г. Дьячков**

*Объединенный Институт Высоких  
Температур РАН*

# Экспериментальные результаты

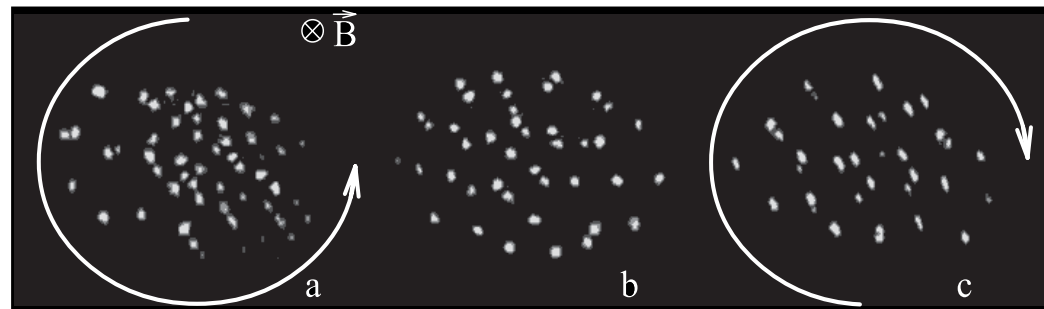
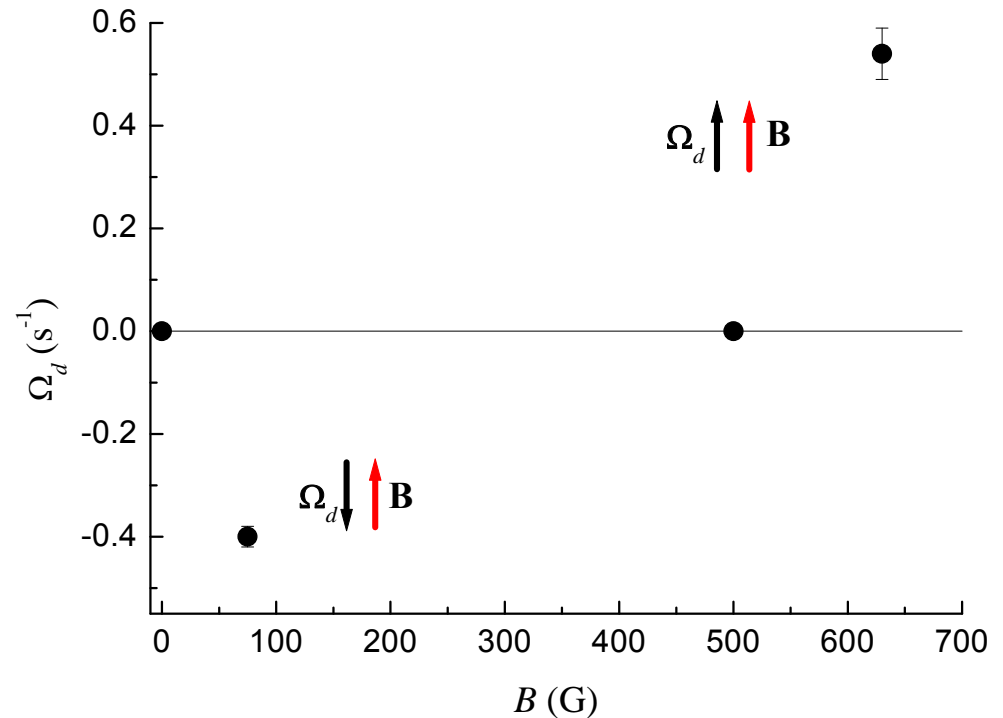
Пылевая структура, левитирующая в стратифицированном тлеющем разряде в Ne, вращается в аксиальном магнитном поле  $B$  со скоростью, не зависящей от радиуса.

Скорость и направление вращения зависят от индукции поля  $B$ .

При  $B = 500$  Гс направление вращения изменяется.

*М.М. Васильев и др. Письма в ЖЭТФ, (2007) 86, 414.*

## Угловая скорость пылевой структуры



# Силы, действующие на пылевую частицу в азимутальном направлении

Сила ионного увлечения

$$F_i \cong \frac{8}{3} \sqrt{2\pi T_i m_i} a^2 n_i \left( 1 + \frac{1}{2} z\tau + \frac{1}{4} z^2 \tau^2 \Pi \right) (u_i - u_d)$$

$$\tau = T_e / T_i;$$

Сила трения о нейтральный газ

$$z = |Z_d| e^2 / a T_e$$

$$F_a \cong \frac{8}{3} \sqrt{2\pi T_a m_a} a^2 n_a (u_a - u_d)$$

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

Баланс сил

$$F_i + F_a = 0$$

при  $u_d \ll u_i$ ,  $T_i \approx T_a$  and  $m_i = m_a$  дает

$$u_d(r) \cong \frac{n_i}{n_a} \left( 1 + \frac{1}{2} z\tau + \frac{1}{4} z^2 \tau^2 \Pi \right) u_i(r) + u_a(r)$$

# Азимутальная скорость ионов

$$u_i(r) = -\frac{E_r(r)}{B \left(1 + \frac{v_{ia}^2}{4\omega_{iB}^2}\right)} + \frac{1}{en_i(r)B \left(1 + \frac{v_{ia}^2}{4\omega_{iB}^2}\right)} \frac{d(n_i T_i)}{dr}$$

Дрейф ионов в  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  полях

Диамагнитный ионный ток

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

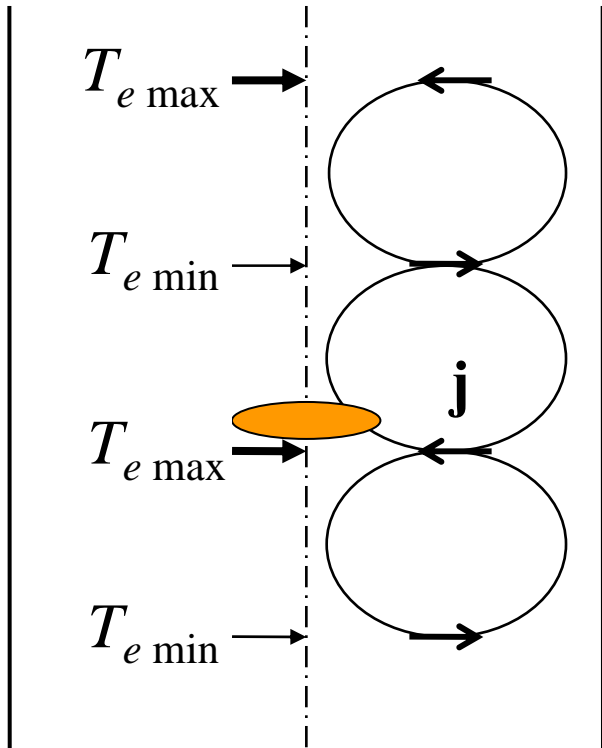
$v_{ia}$  – транспортная частота столкновений ионов с атомами

$\omega_{iB}$  – циклотронная частота ионов

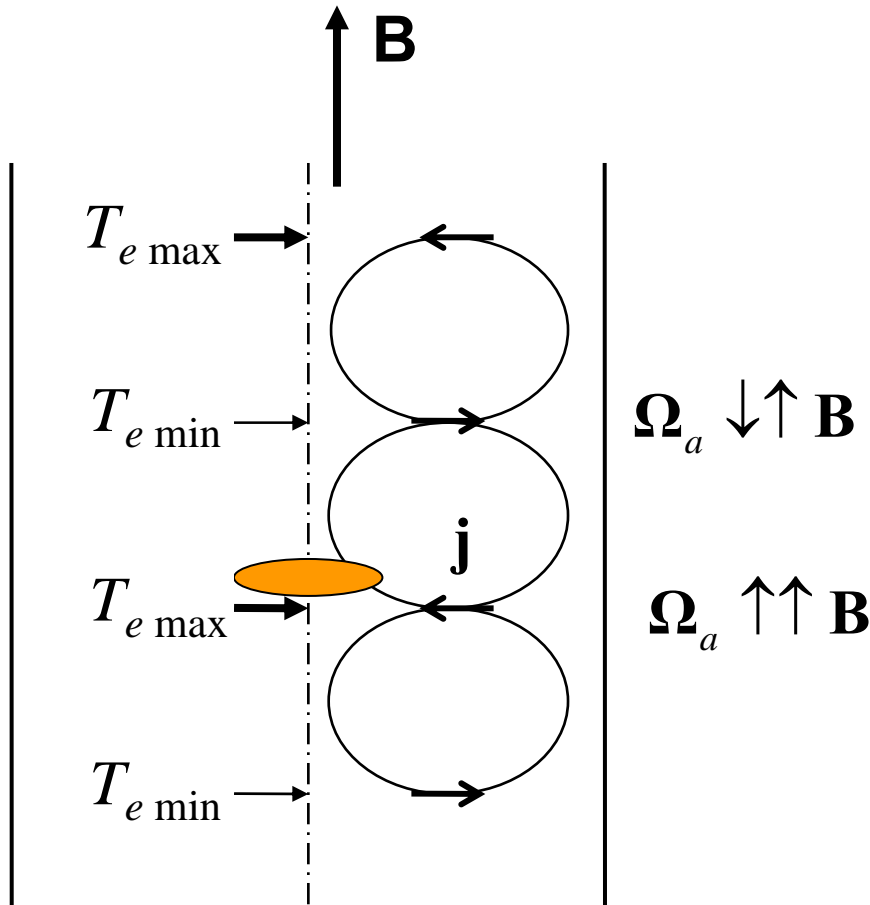
$$u_i(r) = \frac{4\omega_{iB} T_i (1 + \tau)}{m_i n_i(r) \left(1 + 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}}\right) (v_{ia}^2 + 4\omega_{iB}^2)} \frac{dn_i}{dr}$$

# Вращение газа

$$\frac{e}{m_e v_{ea}} \nabla n_e \times \nabla T_e = -\text{rot } \mathbf{j}$$



# Вращение газа



$$\frac{e}{m_e v_{ea}} \nabla n_e \times \nabla T_e = -\text{rot } \mathbf{j}$$

$$\mathbf{j} \times \mathbf{B}$$

$$\Omega_a \approx \frac{1}{3} n_e \tau \sigma_a \frac{\omega_{eB}}{v_{ea}} \sqrt{\frac{T_a}{m_a}}$$

$\sigma_a$  - газо-кинетическое сечение рассеяния

# Вращение пылевых частиц

$$b < 1 \quad \Omega_a \approx \frac{b}{3} n_e \tau \sigma_a \frac{\omega_{eB}}{v_{ea}} \sqrt{\frac{T_a}{m_a}}$$

$$\frac{dn_i}{dr} \approx -\frac{2.9n_i(0)}{R^2} r$$

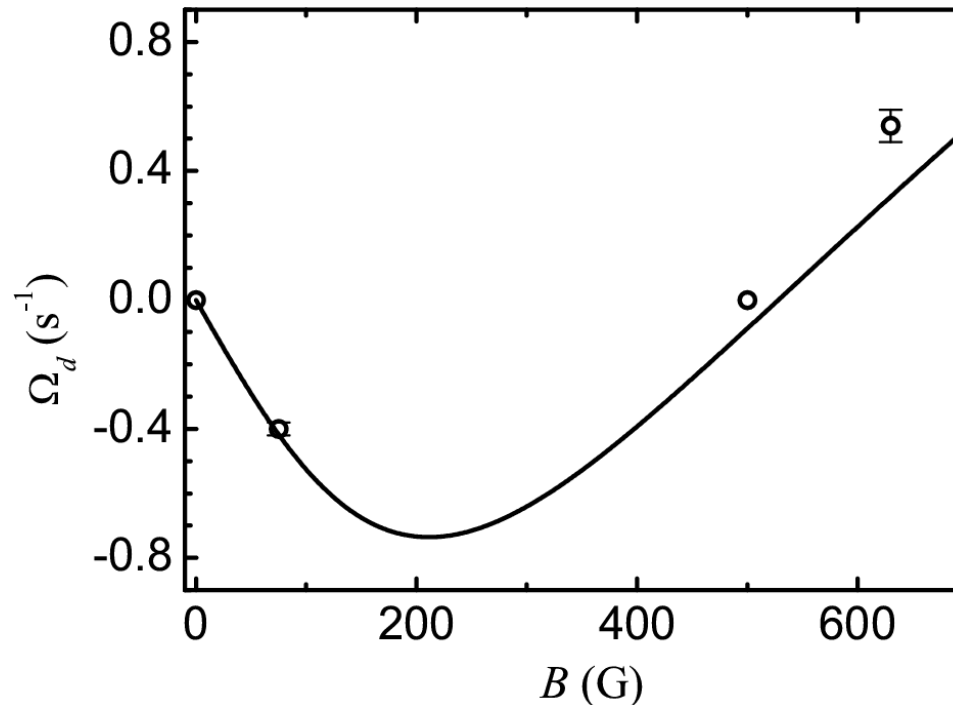
$$n_e = n_i = n, \quad \Pi \sim 1, \quad \tau \gg 1, \quad z \sim 1$$

$$\Omega_d \approx n\tau \sqrt{\frac{T_a}{m_a}} \left[ \frac{b\sigma_a \omega_{eB}}{3v_{ea}} - \frac{2.9z^2 \tau^2 \omega_{iB} \sqrt{T_i / m_i}}{R^2 n_a (4\omega_{iB}^2 + v_{ia}^2) \left( 1 + 2 \frac{\omega_{iB} \omega_{eB}}{v_{ia} v_{ea}} \right)} \right]$$

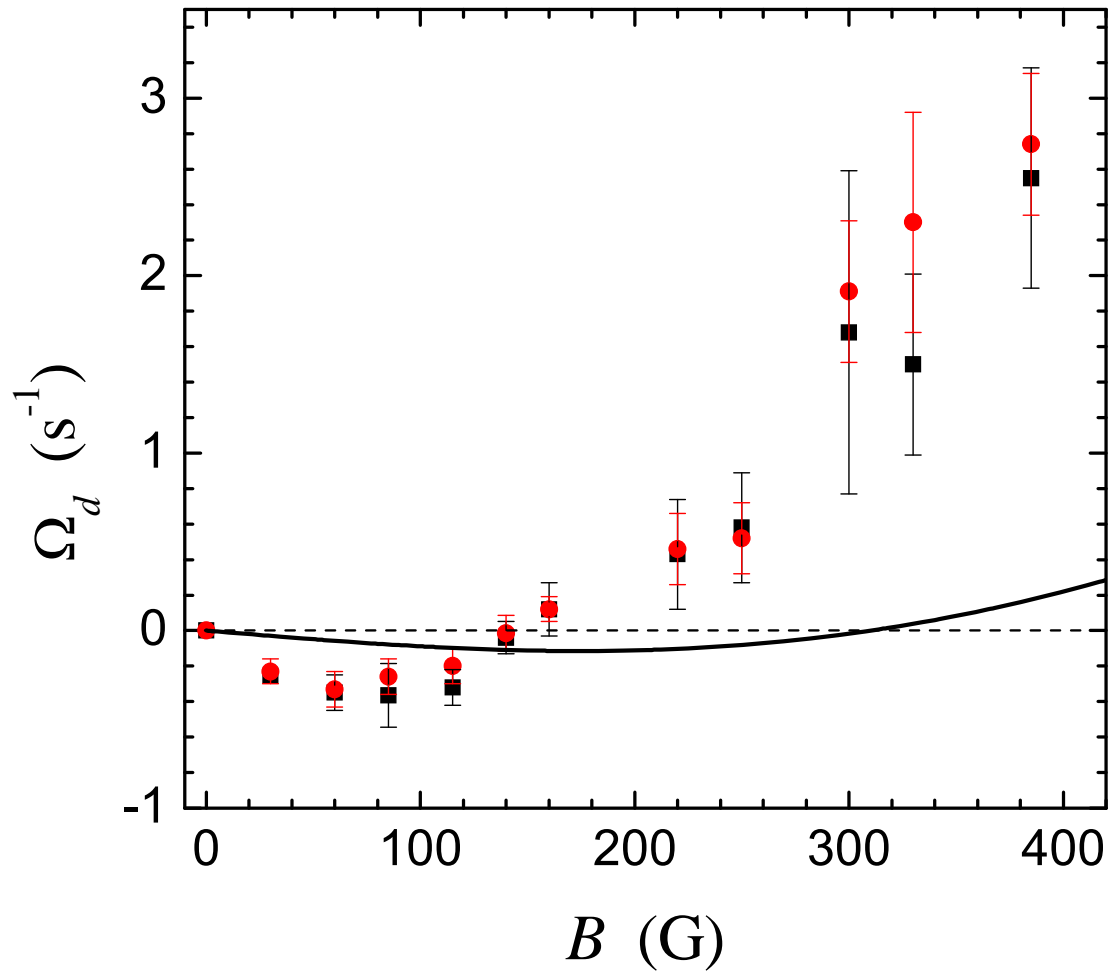
# Сравнение теории с экспериментом

$T_i \approx 300$  K,  $n_a \approx 8 \cdot 10^{15}$  cm $^{-3}$ ,  $n \approx 10^8$  cm $^{-3}$ ,  $\sigma_a \approx 2 \cdot 10^{-15}$  cm $^2$ ,  
 $V_{ia} \approx 2 \cdot 10^6$  s $^{-1}$ ,  $V_{ea} \approx 10^9$  s $^{-1}$ ,  $\tau \approx 10^2$ . OML:  $z = 2.2$ .  $b = 1/2$

$$\Omega_d \approx 10^{-3} B \left[ 2 - \frac{8}{(1 + 2 \cdot 10^{-7} B^2)(1 + 10^{-5} B^2)} \right]$$

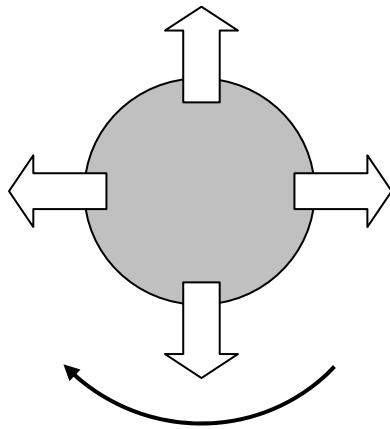




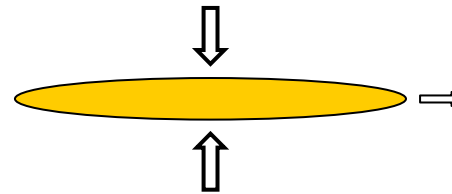
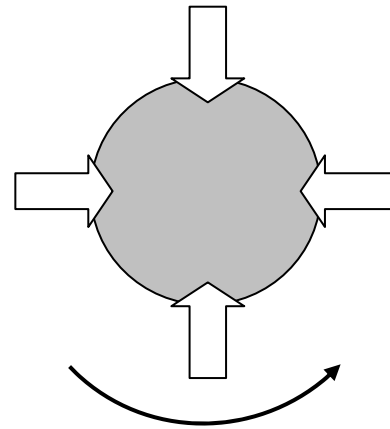


$$\Omega_i(r) = \frac{4\omega_{iB}T_i(1+\tau)}{rm_i n_i(r) \left( 1 + 2 \frac{\omega_{iB}\omega_{eB}}{v_{ia}v_{ea}} \right) (v_{ia}^2 + 4\omega_{iB}^2)} \frac{dn_i}{dr}$$

$\odot \mathbf{B} \quad (B < B_0)$



$\odot \mathbf{B} \quad (B > B_0)$



***Спасибо за внимание***