



Scientific-Coordination Workshop on

Non-Ideal Plasma Physics

December 16-17, 2020, Moscow, Russia



Вращение пылевых структур в тлеющем разряде постоянного тока под действием магнитного поля

Абдирахманов Асан

PhD студент КазНУ им. аль-Фараби

Молдабеков Ж.А., Бастыкова Н.Х., Коданова С.К., Досболаев М.К.,
Рамазанов Т.С

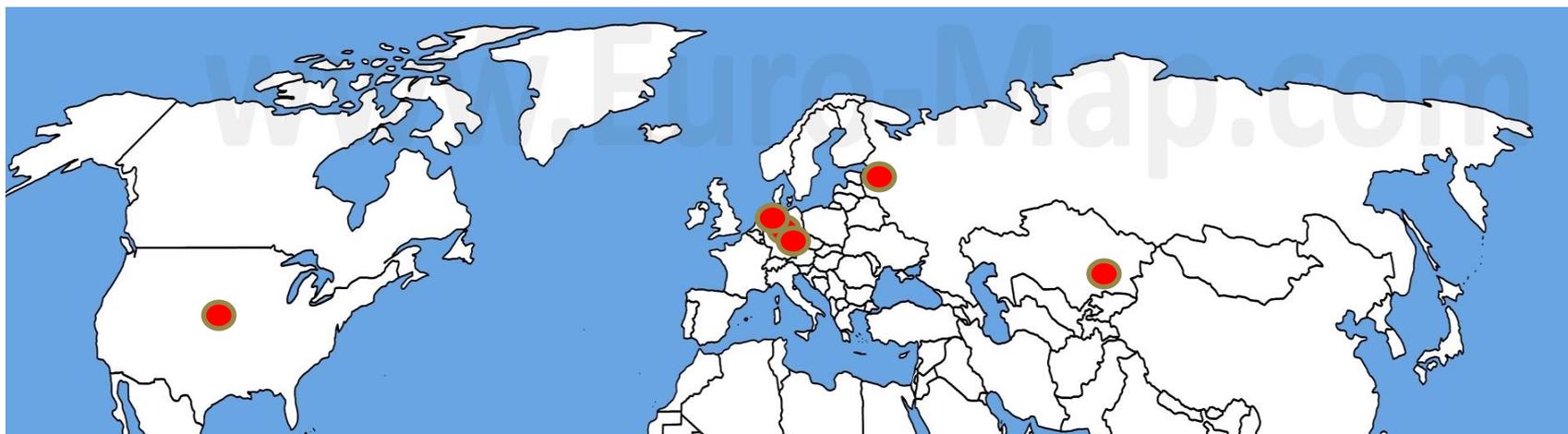
abdirakhmanov@physics.kz

17.12.2020

План презентации

- ❖ Современное состояние исследований пылевой плазмы в магнитном поле
- ❖ Экспериментальная установка
- ❖ Результаты экспериментов
- ❖ Анализ экспериментальных данных
- ❖ Теоретическая модель
- ❖ Вывод

Современное состояние исследований пылевой плазмы в магнитном поле



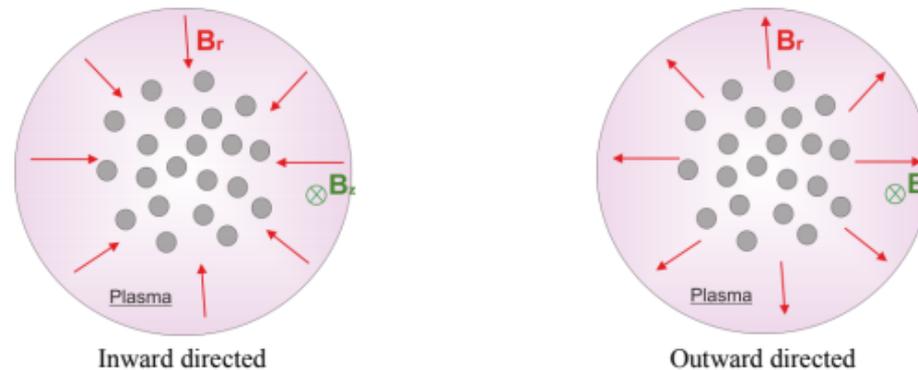
Device*	Bmax (T)	Dia. (cm)	Axial (cm)	Plasma Source	Refs.
Kiel (Germany)	>2	220	170	RF	Piel et.all 2019
Giessen (Germany)	>4	5	100	RF	Choudhary et al.2020
MDPX (USA)	>4	35	200	RF	Thomas 2020
SPBU (Russia)	2.5	3	80	DC	Karasev et.al 2019
Greifswald (Germany)	>5.8	12	12	RF	Melzer et.al 2019
Al-Farabi KazNU	0.035	3	60	DC	Abdirakhmanov et al. 2019

Мотивация

- Интересное поведение пылевых структур в страте, которое не наблюдалось в аналогичных экспериментальных работах.
- Предыдущие работы были сфокусированы на исследовании пылевых структур в однородном магнитном поле.

Цель

- экспериментальное исследование механизмов вращения пылевых структур в стратифицированном тлеющем разряде постоянного тока во внешнем магнитном поле.



Пылевые частицы обозначены точкой

Научная новизна

- впервые обнаружено комплексное вращательное поведение плазменно-пылевых структур в стратах тлеющего разряда в магнитном поле.

Экспериментальная установка

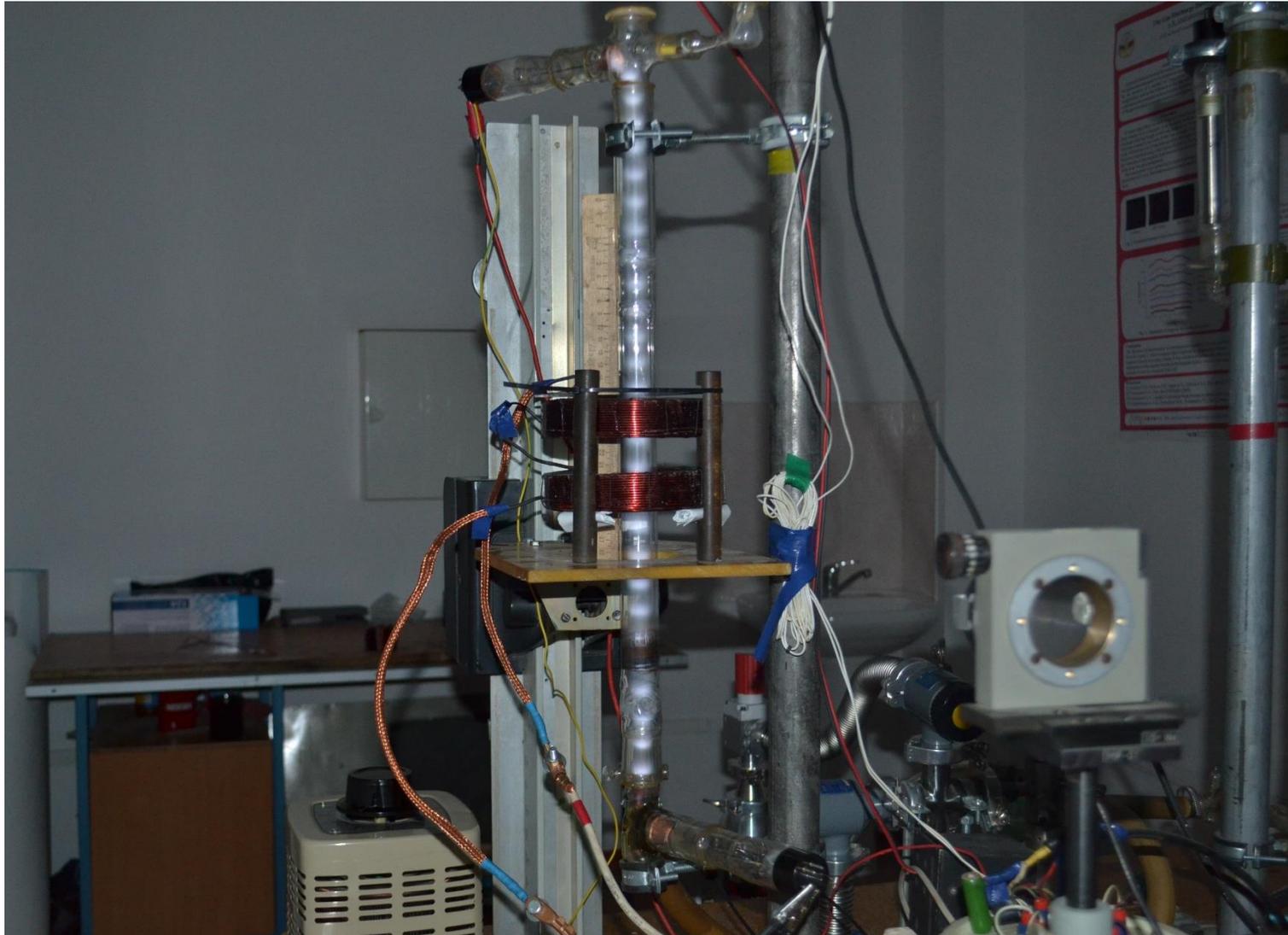


Рисунок 1. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка

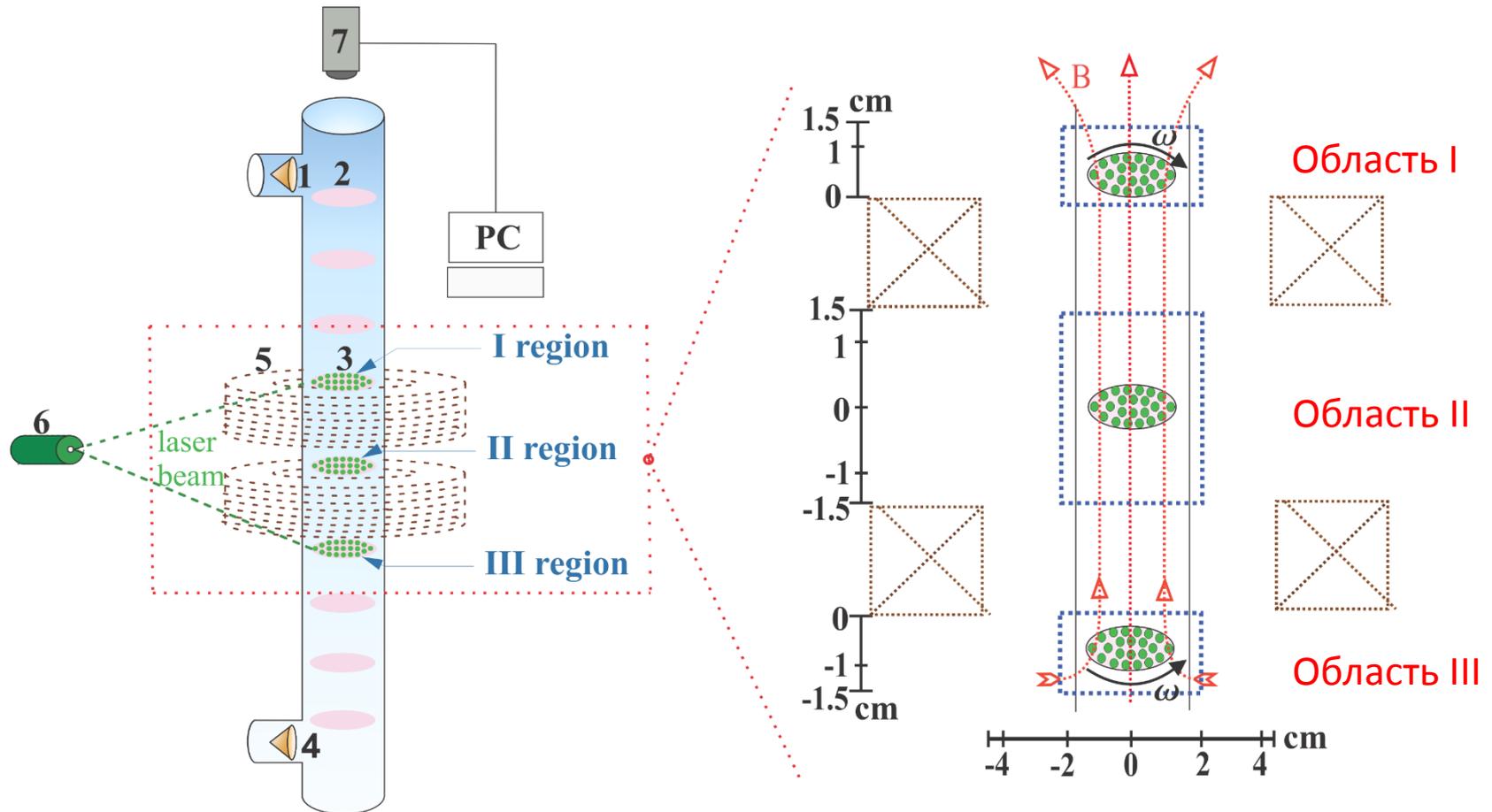


Рисунок 2. Экспериментальная установка
1-анод, 2-страфа, 3- пылевые структуры, 4- катод, 5-катушка Гельмгольца, 6-лазер, 7-CCD камера

Результаты экспериментов

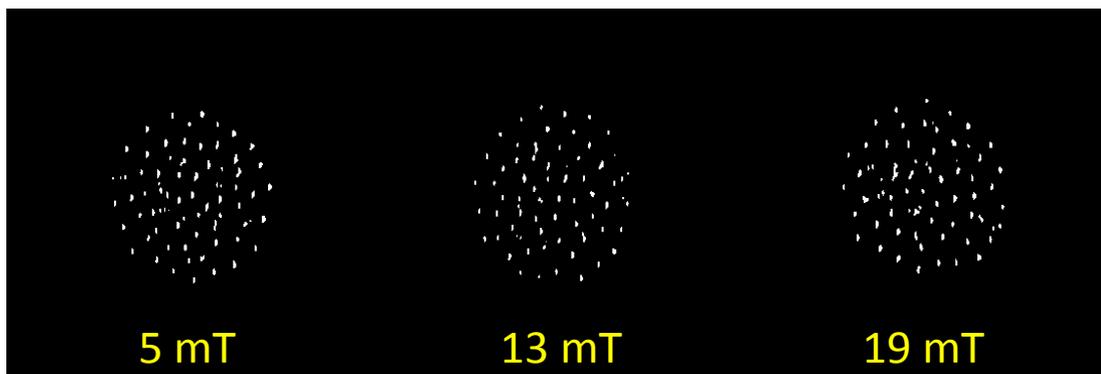


Рис. 3. Вращательное движение пылевых структур в области I

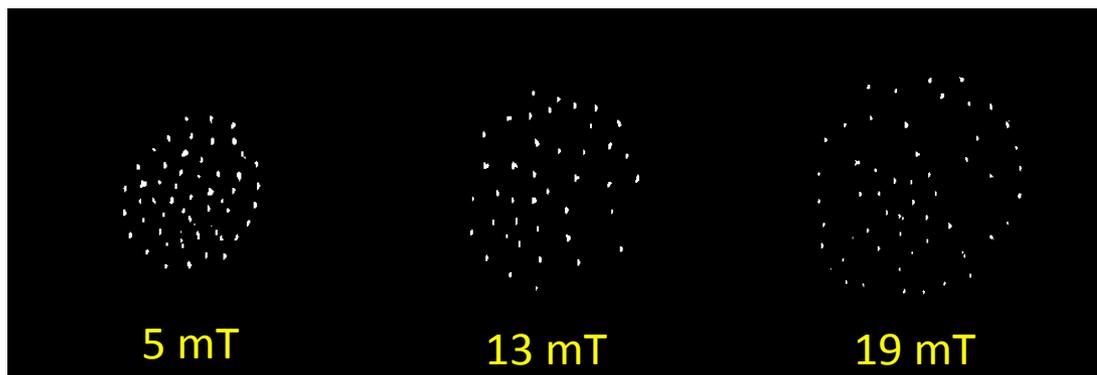
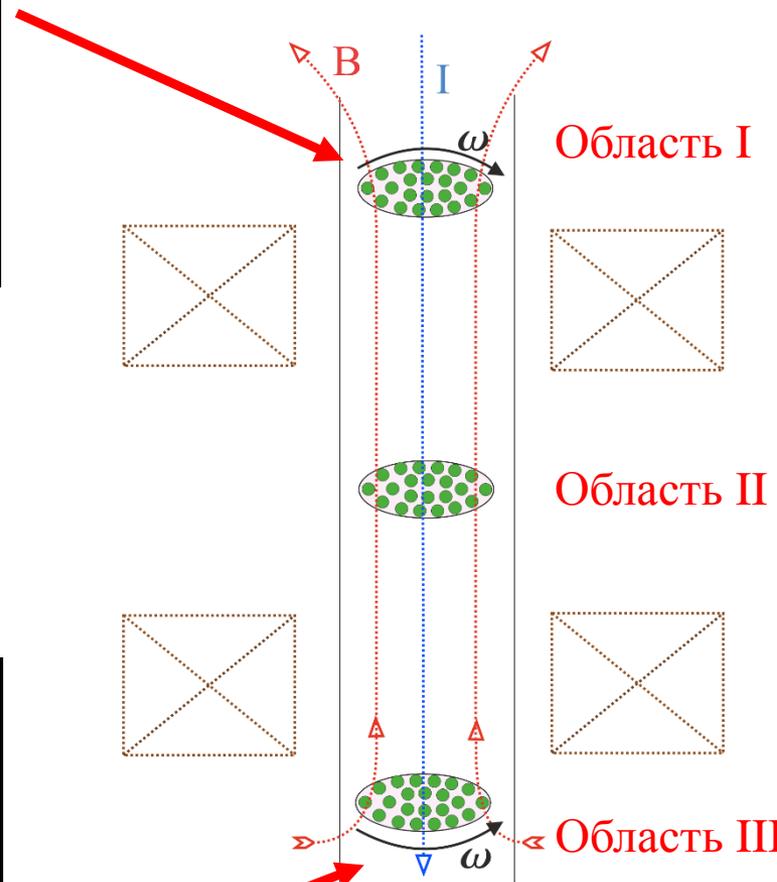


Рис. 4. Вращательное движение пылевых структур в области III



Параметр плазмы: Ar
 $p=0.25$ торр, $I=1.8$ мА, $T_e=4$ эВ,
 $n_e = n_i = 10^{15}$ м⁻³
 $B = 0-35$ мТ

Анализ экспериментальных данных (PIV method)

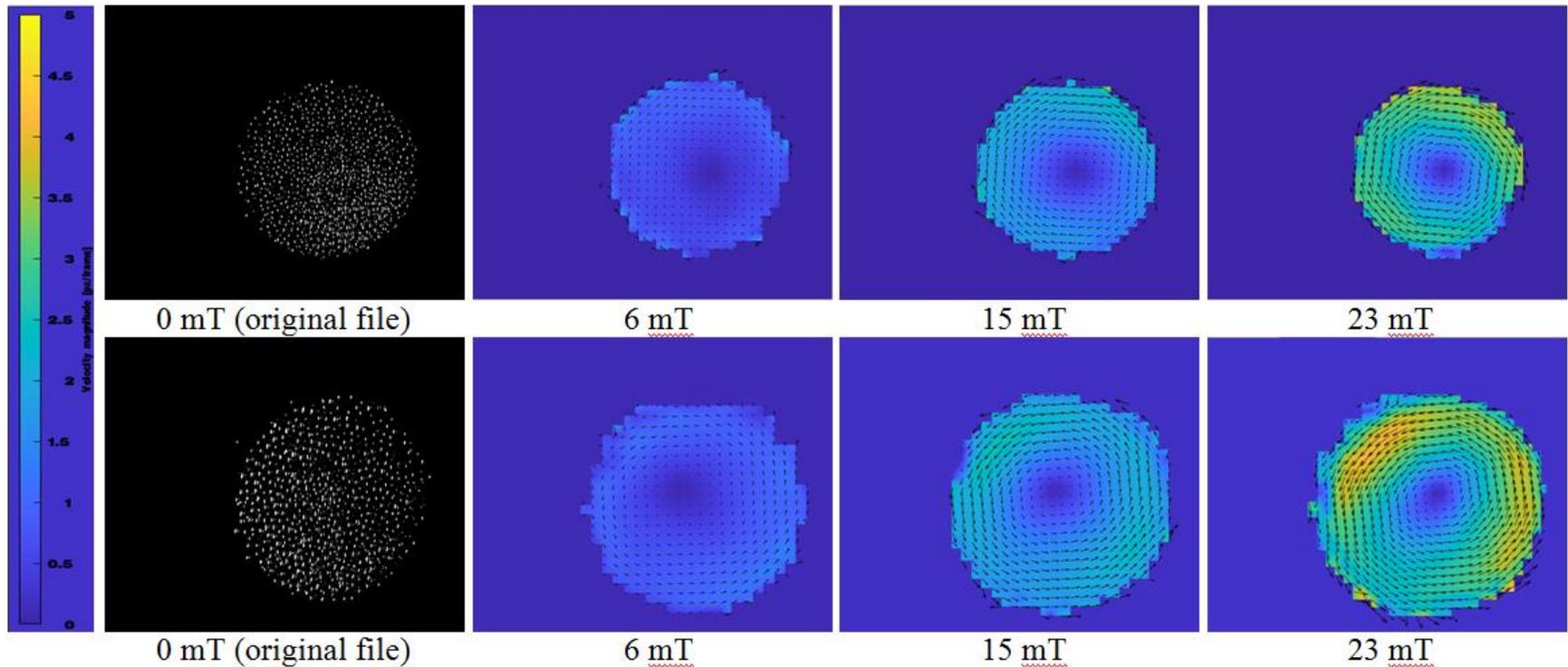


Рис 5. Обработка экспериментальных данных с методом PIV
Параметр эксперимента: Аргон, $P=0.1$ torr, $I=1.5$ mA

- Schneider, W. Rasband, and K. Eliceiri, “Nih image to imagej: 25 years of image analysis,” Nat. Methods 9, 671–675 (2012).]
- Liberzon, R. Gurka, and Z. Taylor, <http://www.openpiv.net/openpiv-matlab>, 2009.

Вращательное свойство пылевых структур

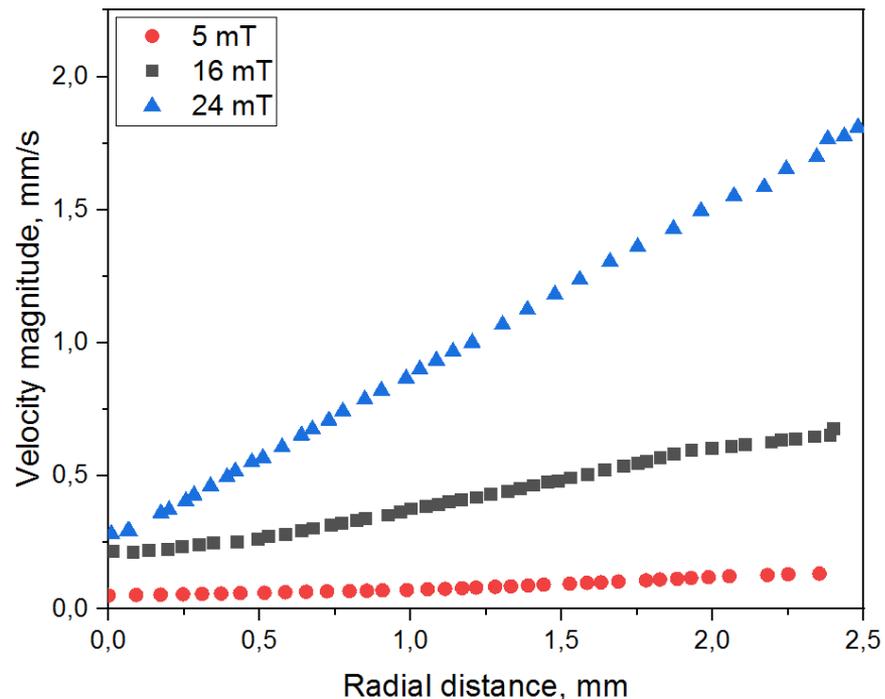
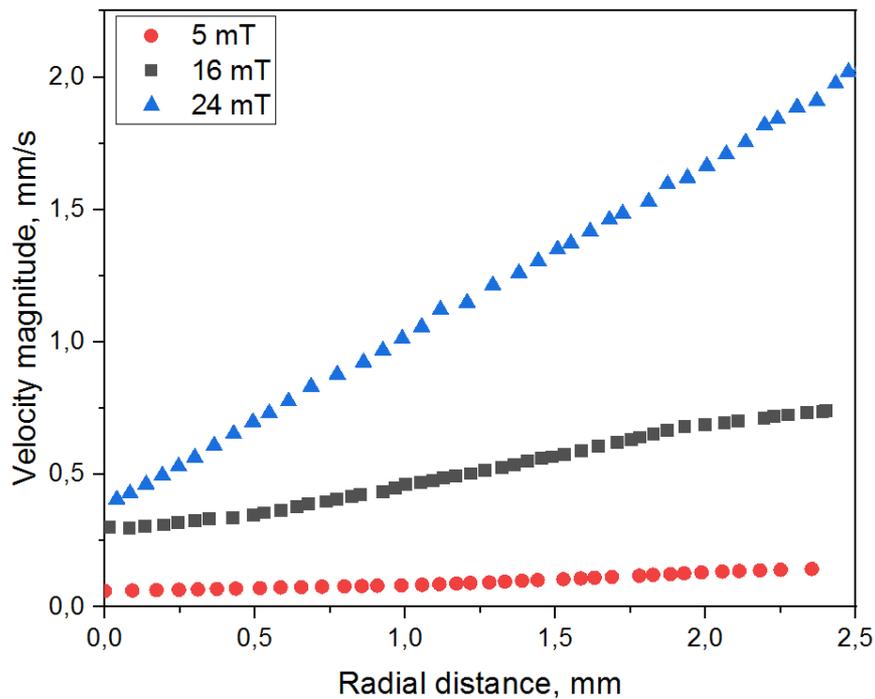


Рис. 6. Радиальное распределение скорости пылевых структур в области I и III

**Параметр разряда: $p=0.25$ torr
 $I=1.8$ мА**

Вращательное свойство пылевых структур

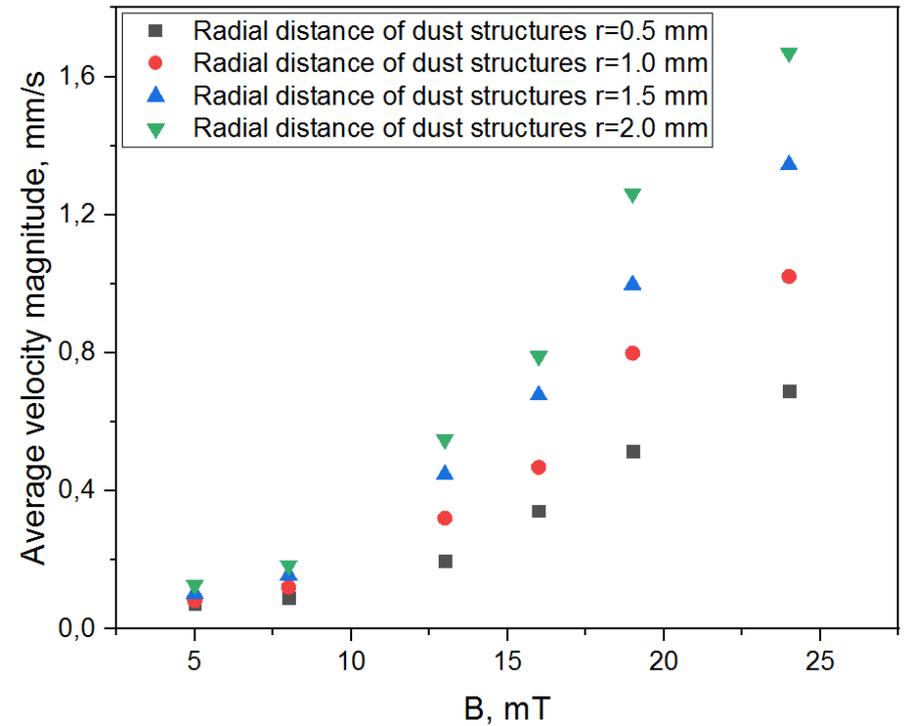
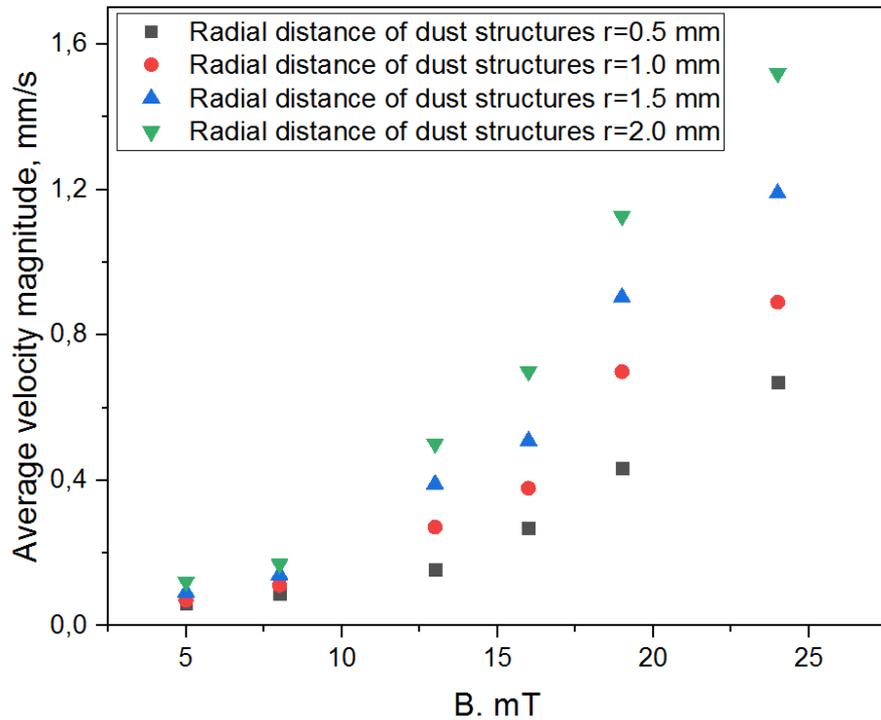


Рис. 7. Зависимость скорости пылевых структур от индукции магнитного поля в области I и III

**Параметр разряда: $p=0.25$ torr
 $I=1.8$ мА**

Теоретическая модель

Угловая скорость плазменно-пылевой структуры определяется из уравнений:

$$\Omega_d \approx \Omega_i + \Omega_a \quad (1)$$

где $\Omega_i \sim v_{i\theta}/r$ – скорость вращения ионов, Ω_a – скорость вращения газа:

$$\Omega_a \approx \frac{1}{3} n_e \tau \sigma_a \frac{\omega_{eB}}{v_{ea}} \sqrt{\frac{T_a}{m_a}} \quad (2)$$

Азимутальный дрейф ионов можно оценить с помощью уравнений жидкости:

$$(\vec{v}_i + \vec{v}_i \cdot \vec{\nabla}) \vec{v}_i = \frac{q_i \vec{E}}{m_i} + \vec{v}_i \times \vec{\omega}_L \quad (3)$$

для случая $B_{\perp} \neq 0$ из (3) выводим азимутальную скорость ионного потока

$$v_{i\theta} = -\frac{F_r}{m} \frac{\omega_L \sin \alpha}{v_i^2 + \omega_L^2 \sin^2 \alpha} \pm v_{iz} \frac{v_i \omega_L \cos \alpha}{v_i^2 + \omega_L^2 \sin^2 \alpha} \quad (4)$$

Радиальная сила, действующая на ионы определяется двумя механизмами (1 – за счет радиальной электростатической силы 2 – за счет радиального градиента ионного давления):

$$F_r = -eE_r(r) + n_i^{-1}(r) d(n_i T_i) / dr \quad (5)$$

Сравнение с экспериментальными данными

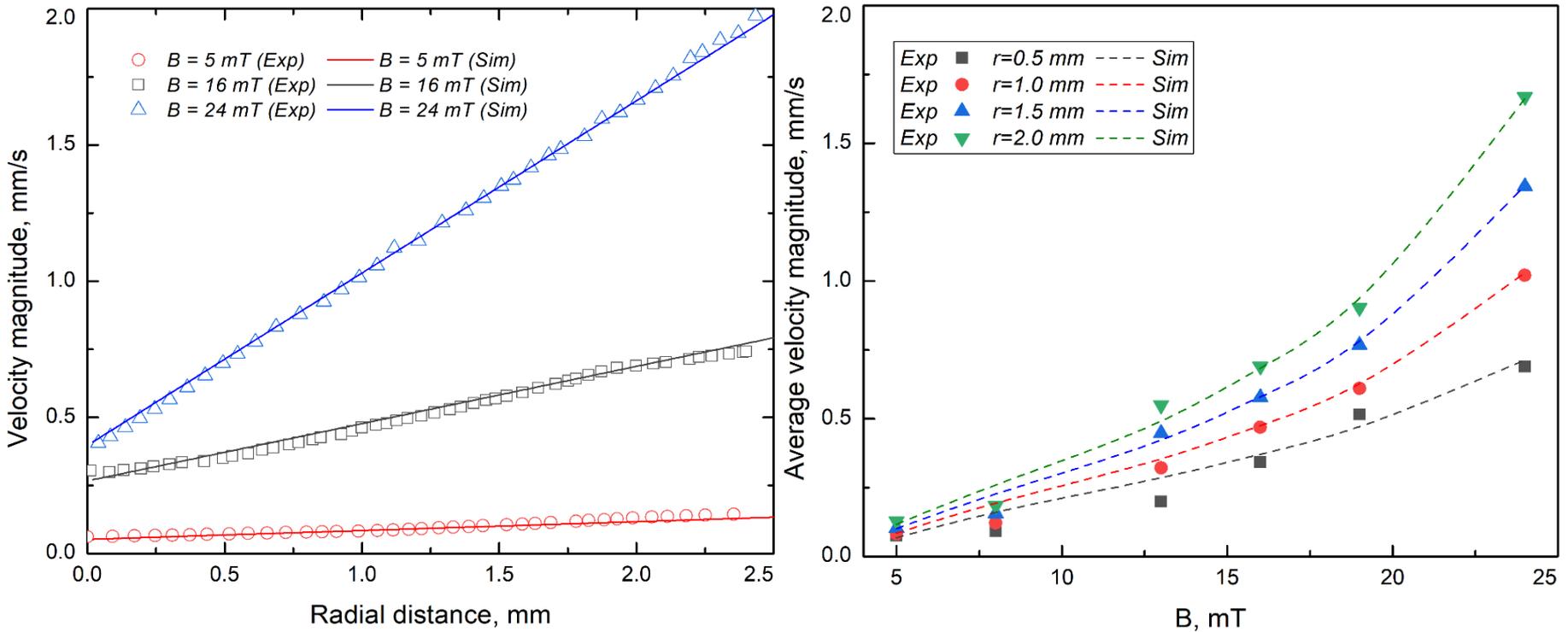


Рис 8. Радиальное распределение скорости плазменно-пылевой структуры при различных значениях индукции магнитного поля

**Параметр разряда: $p=0.25$ torr
 $I=1.8$ мА**

Вывод

- ❑ Основным механизмом, вызывающим вращение пылевых частиц, является столкновительное взаимодействие с азимутальным ионным потоком, индуцированным радиальным компонентом магнитного поля и аксиальным компонентом электрического поля.
- ❑ Получено зависимость скорости пылевых структур в разных областях

Публикация

- Abdirakhmanov, A. R., Moldabekov, Z. A., Kodanova, S. K., Dosbolayev, M. K., Ramazanov, T. S. // IEEE Transactions on Plasma Science. 2019. V 47. P. 3036–3040.
- A.R. Abdirakhmanov , A.U.Utegenov , Zh.A.Moldabekov , M.K.Dosbolayev , S.K.Kodanova. Analysis of rotational motion of dusty structures in a magnetic field // ПЭОС.-2020

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

