

МГД-стабилизация
электрическим полем
в ГДЛ

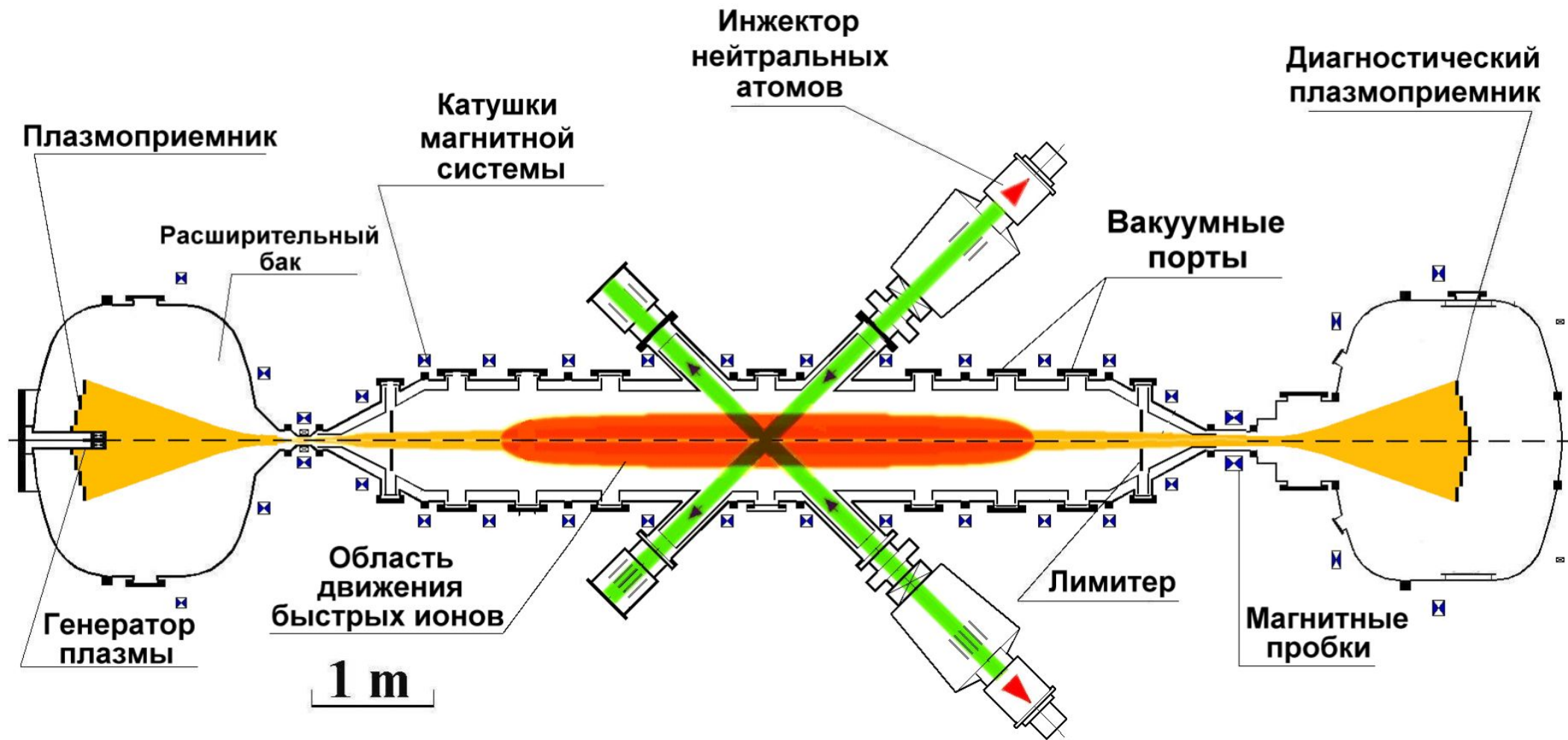
Докладчик: Солдаткина Е.И.

Руководитель: Багрянский П.А.

План доклада

- ▶ Схема установки и мотивация исследований
- ▶ Стабилизация электрическими полями
 - ▶ Первые результаты
 - ▶ Эксперименты в стационарном режиме
- ▶ Теоретическое описание
- ▶ Выводы

Схема установки



Длина соленоида $L = 7 \text{ м}$

Магнитное поле в центре $B_0 = 2.6 \text{ кГс}$

Пробочное отношение $R = 33$

$T_{target} \approx 100 \text{ eV}$

$E_{fast} \approx 10 \text{ keV}$

Мотивация исследований

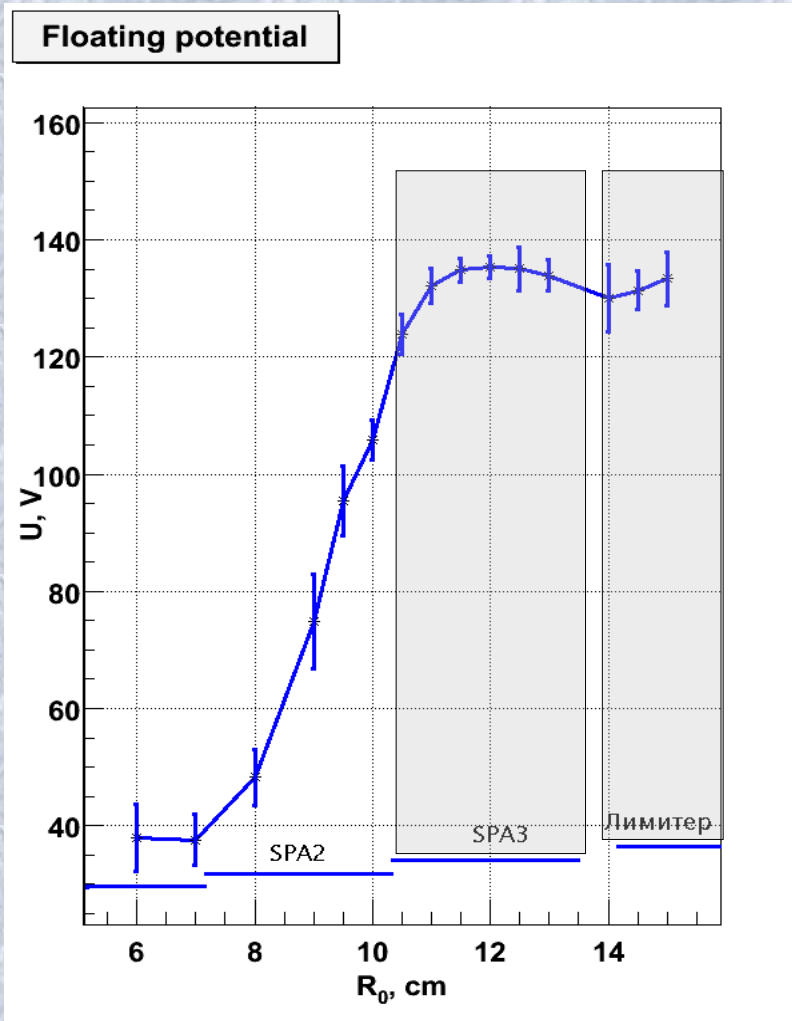
Одной из главных задач исследований на ГДЛ является изучение МГД-устойчивости и поперечного переноса в плазме с высоким относительным давлением.

В ряде работ было показано, что дифференциальное вращение уменьшает инкремент развития МГД-неустойчивости в открытых ловушках:

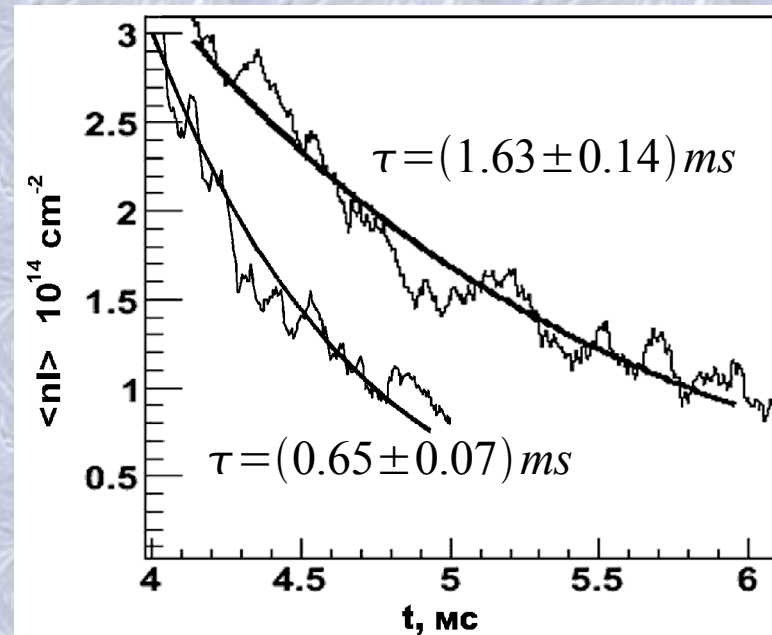
- *Богданов Г.Ф.* и др. //Ядерный синтез, 1962, Приложение, Т.1.
- *Тимофеев А.В.* Резонансные явления в колебаниях плазмы, 2000 г.
- *Волосов В.И.* О некоторых особенностях желобковых колебаний в открытой ловушке с радиальным электрическим полем, ЖТФ 47, №7, 1977 г.
- *Беклемишев А.Д., Чащин М.С.* Механизм подавления поперечного переноса плазмы в открытой ловушке электрическим полем, Материалы XXXIV Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, 12-16 февраля 2007 г.

Эксперименты по изучению радиального электрического поля (1)

Наблюдался устойчивый режим удержания



Потенциал зонда в плазме при подаче напряжения на лимитер и внешнее кольцо плазмодриёмника



$$\tau_{gdt} \approx 1.5 \text{ ms}$$

$$\frac{\tau_{stable}}{\tau_{unstable}} \approx 2.5$$

Линейная плотность плазмы в устойчивом и неустойчивом режимах

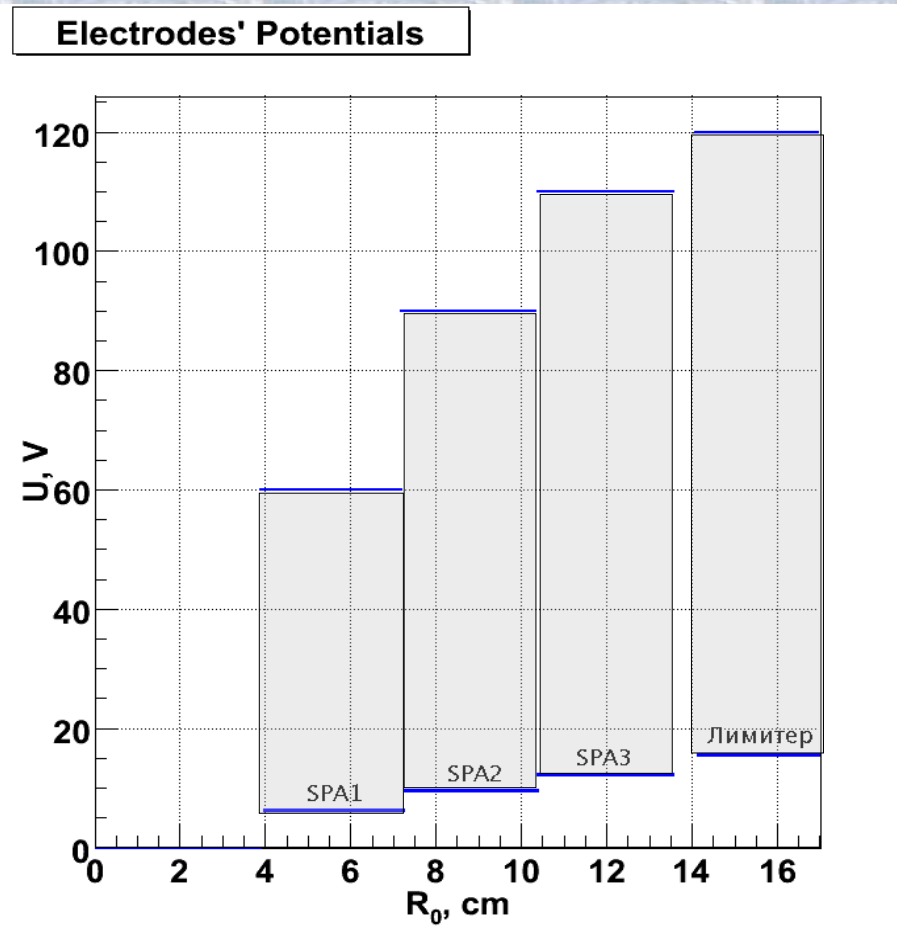
Время жизни быстрых ионов $\approx 740 \mu\text{s}$

В режиме с заземлением электродов $\approx 230 \mu\text{s}$

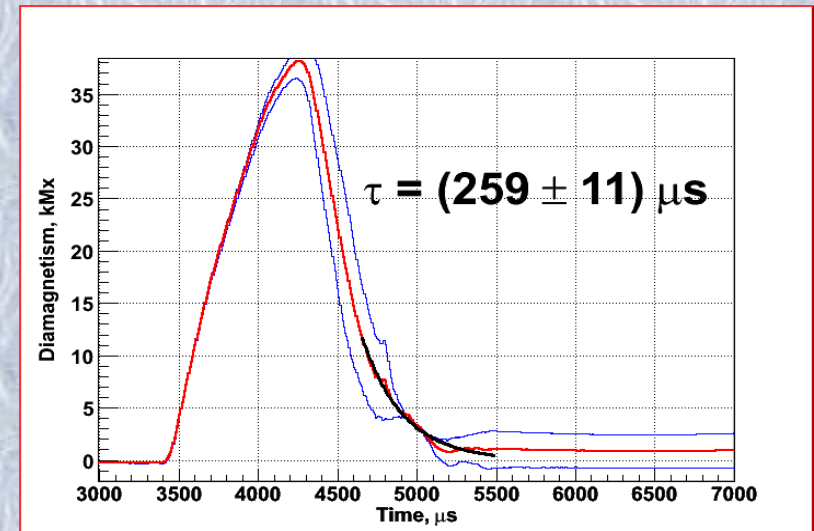
(в **3.2 раза** меньше!)

Эксперименты по изучению радиального электрического поля (2)

На лимитере +150 В, плазмприёмник под плавающим потенциалом



Распределение потенциала по электродам



Диамнитный сигнал быстрых частиц

Время жизни теплой плазмы $\approx 260 \mu s$
($\tau_{gdt} \approx 1.5 ms$)

Неустойчивый режим удержания
Нет достаточного перепада потенциала

Модернизация системы инжекции на ГДЛ

Длительность инжекции

Суммарная мощность 6 пучков

Плотность быстрых частиц

Плотность мишенной плазмы

Относительное давление плазмы

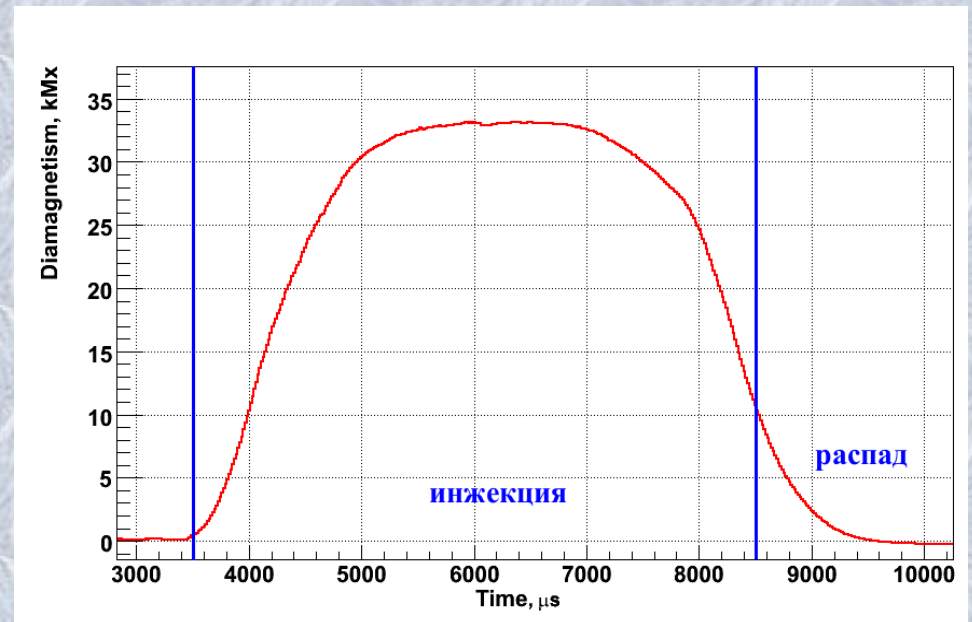
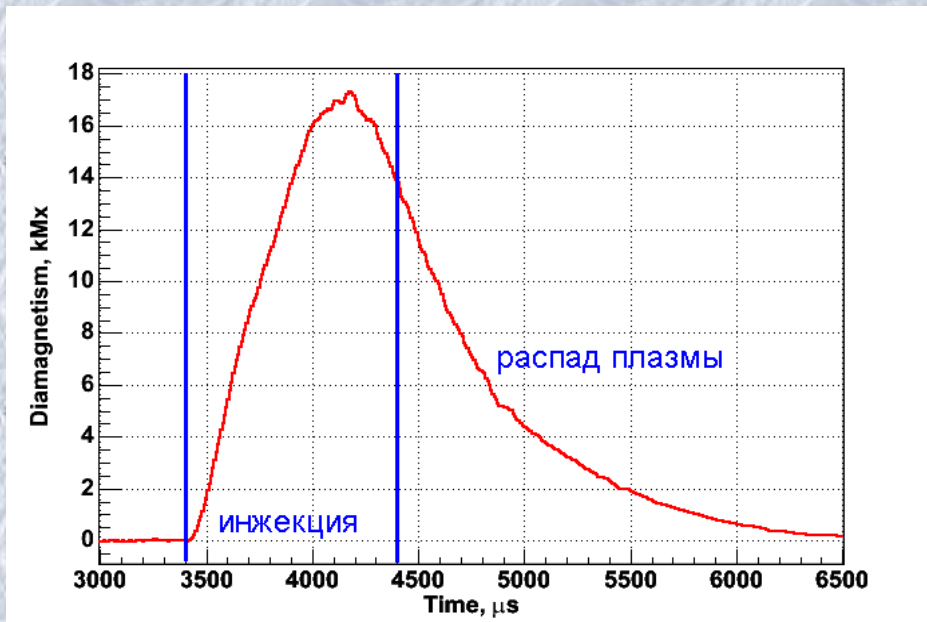
увеличена с 1 мс до 5 мс

3-3.5 МВт

$$n_{fast} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$$

$$n_{target} \approx 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

$$\beta \approx 40\%$$

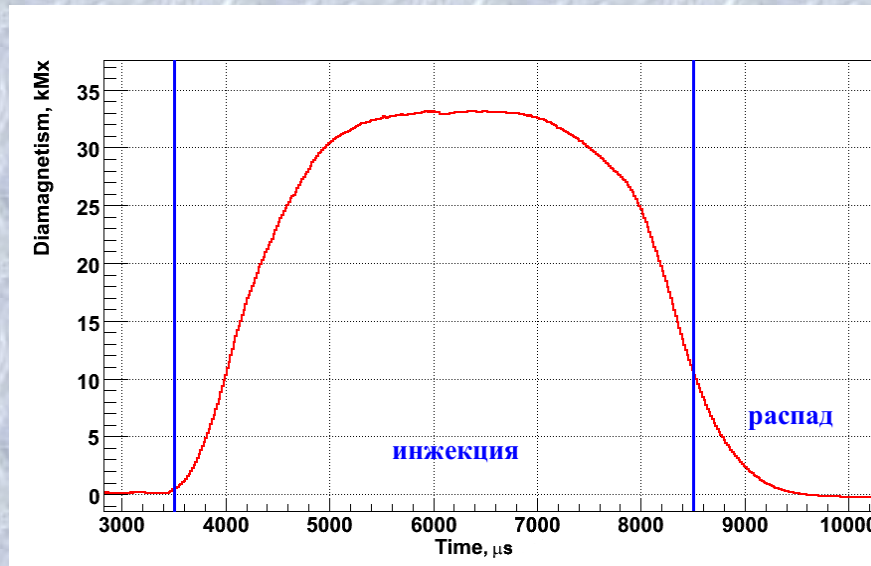
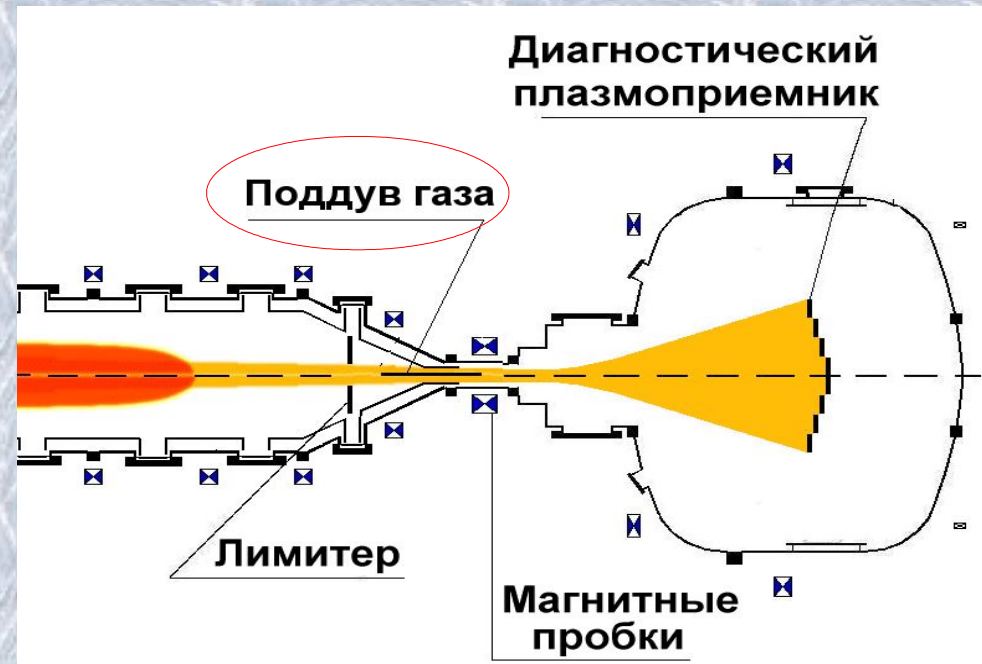


Диаманитные сигналы быстрых частиц
ДО и **ПОСЛЕ**
модернизации системы инжекции

Инжекция газа в установку

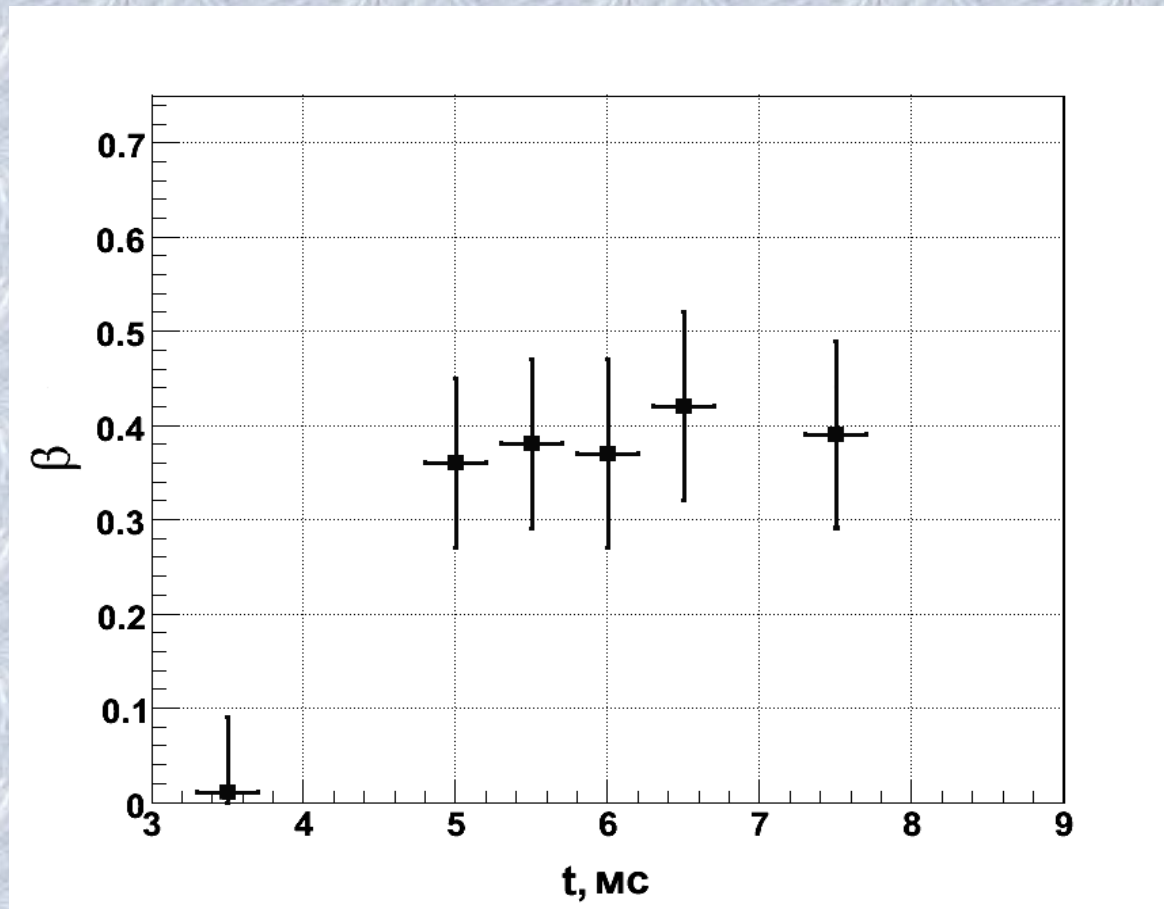


Диамagnetный сигнал быстрых частиц *без инъекции* газа



Диамagnetный сигнал быстрых частиц *с инъекцией* газа

Относительное давление плазмы

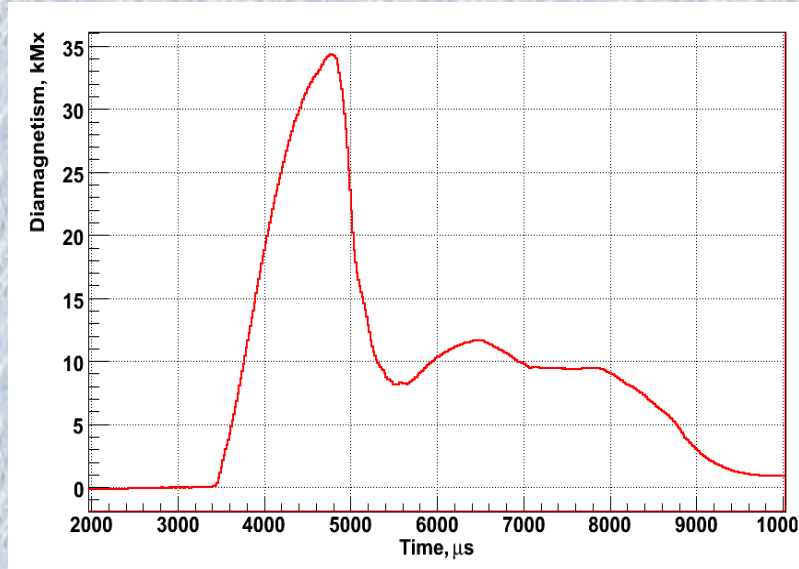


*Стабилизация плазмы осуществляется
посредством подачи потенциала на лимитер*

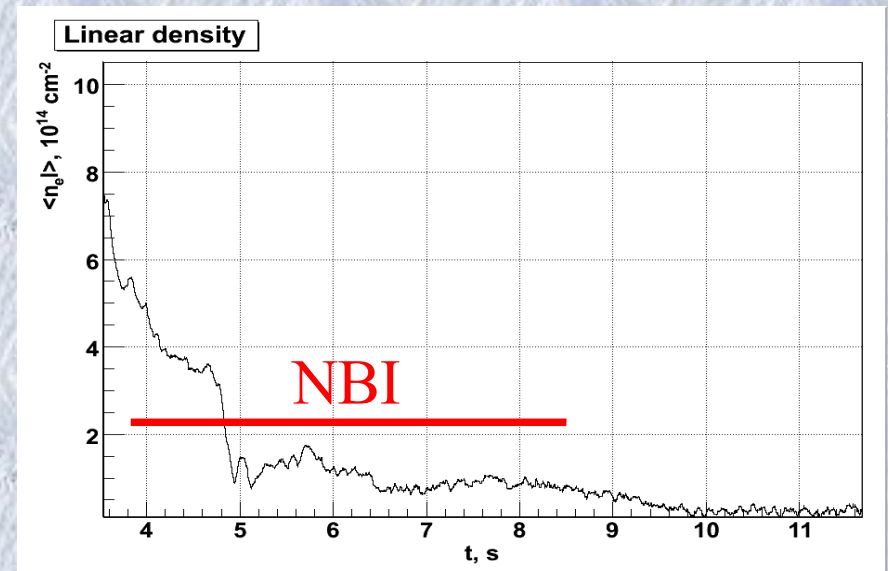
$$U_{lim} = 150-300 \text{ В}$$

Неустойчивый режим удержания

Лимитеры отключены

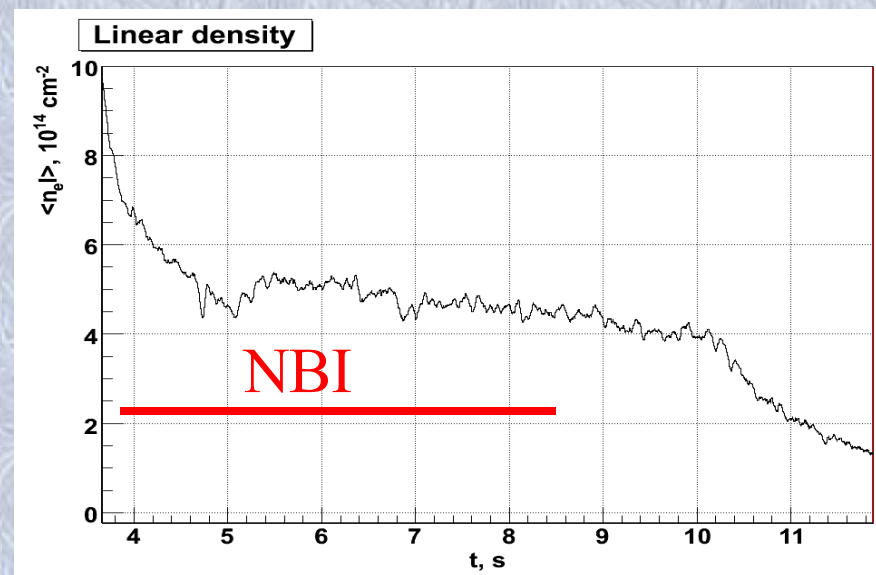


Диамagnetный сигнал
быстрых частиц

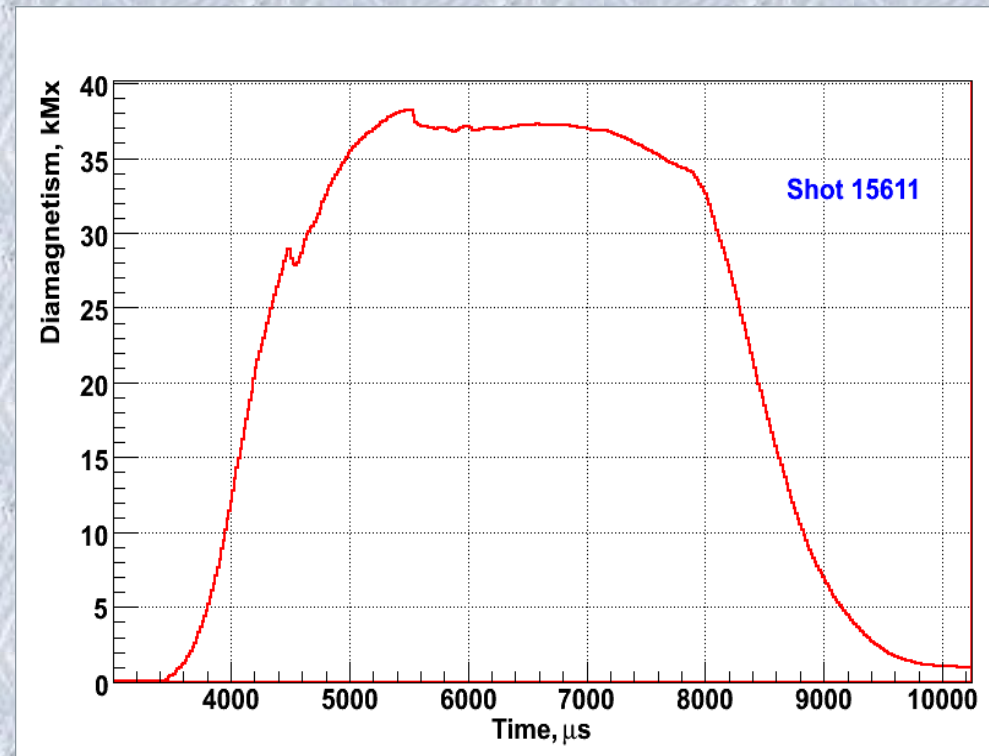
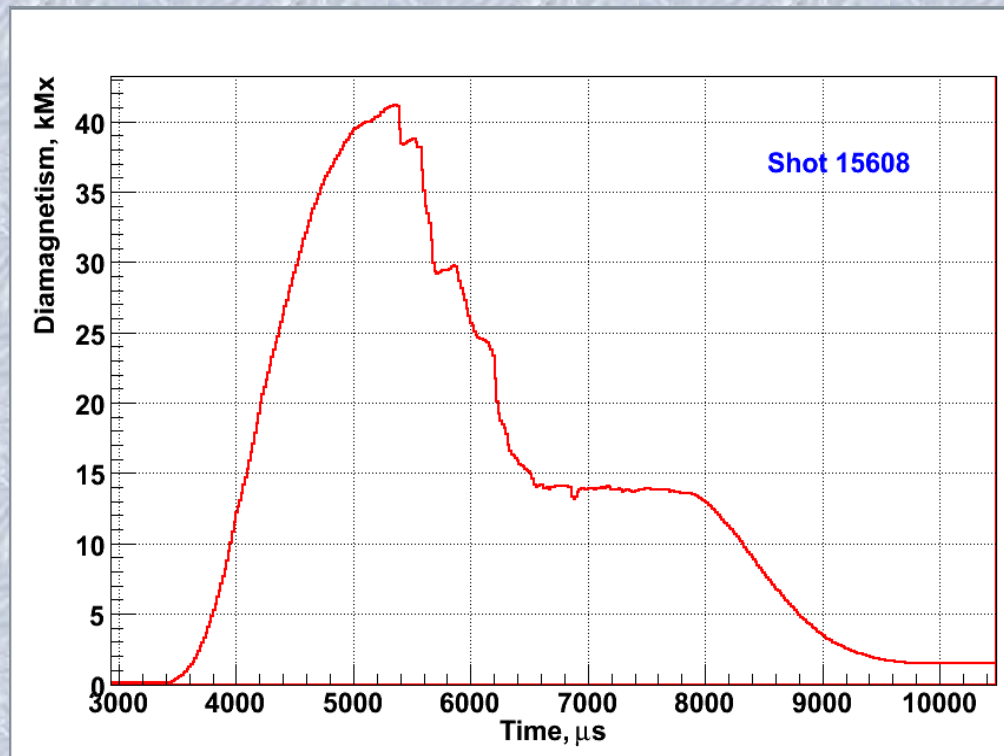


Линейная плотность плазмы

*Для сравнения: линейная
плотность плазмы в
устойчивом режиме*



Инжекция газа на периферию

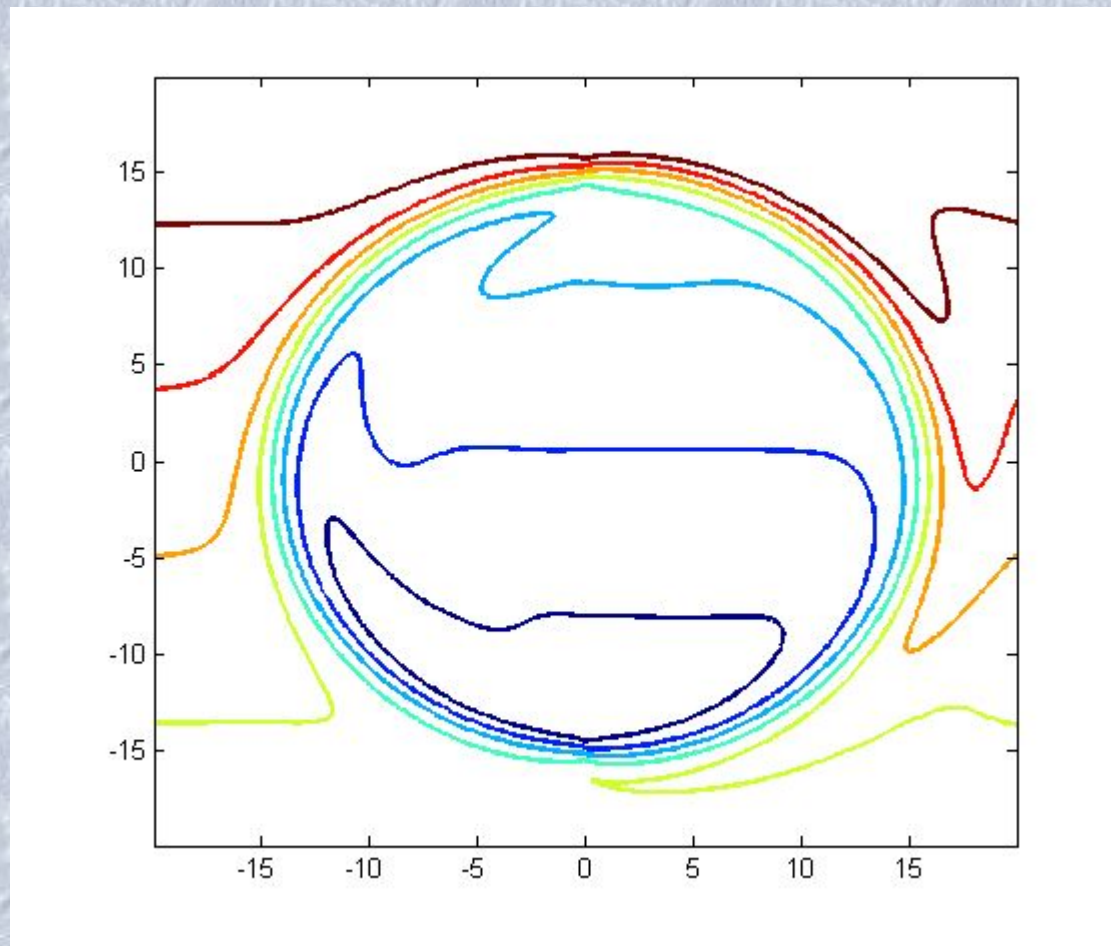


Диамagnetный сигнал быстрых частиц при
отсутствии и **наличии**
инъекции газа на периферию

Показания *дисперсионного интерферометра* не изменялись в зависимости от наличия периферийной инъекции газа

Теоретическое описание

- область дифференциального $[E \times B]$ вращения плазмы определяется радиальными токами;
- дифференциальное вращение, накладываясь на движение плазмы как целого (мода $m=1$ желобковой неустойчивости), образует замкнутые потоковые линии в плазме, что приводит к подавлению поперечных потерь.



Линии потока в центральном сечении плазмы при $\Delta\varphi = 0.5 T$

- Беклемишев А.Д., Чащин М.С. Механизм подавления поперечного переноса плазмы в открытой ловушке электрическим полем, Материалы XXXIV Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, 12-16 февраля 2007 г.

Выводы

- На установке ГДЛ проведена модернизация системы инъекции атомарных пучков, в результате чего время инъекции увеличилось с *1 мс до 5 мс*, а полная инжектируемая мощность составила *3 – 3.5 МВт*;
- При оптимальном поддуве газа в центр установки достигнут стационарный режим удержания плазмы с *$\beta \approx 40\%$* со временем ($\tau \sim 4$ мс), превышающим время газодинамического истечения плазмы через пробки установки ($\tau \sim 1.5$ мс);
- Показано, что в стационарном режиме удержания механизм стабилизации радиальным электрическим полем *остаётся эффективным.*