

# Расчетные и экспериментальные исследования влияния мишенной плазмы на фокусировку пучка ЛИУ

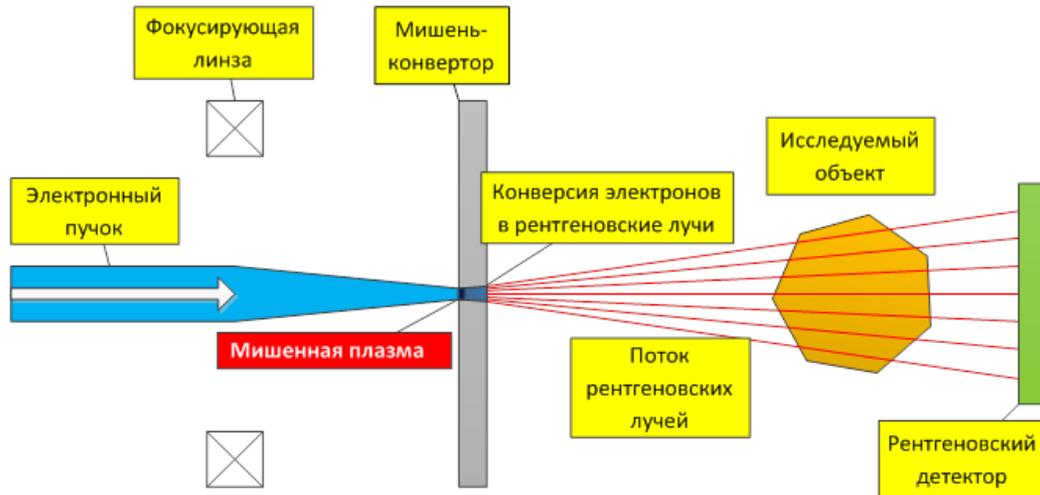
Дмитрий Сковородин

Ю.А. Трунев, В.В. Куркучеков, С.С. Попов, В.В. Данилов, А.В. Бурдаков, В.Т. Астрелин, А.С. Аракчеев, М.Г. Атлуханов, Д.А. Старостенко, А.А. Старостенко, Я.В. Куленко, Л.Н. Вячеславов, С.Л. Синицкий, И.В. Тимофеев, А.Е. Кузьменко, О.А. Никитин, П.А. Колесников, Е.С. Ли, А.Р. Ахметов, С.Д. Хренков, Д.В. Сысков, В.Ю. Политов, В.В. Легоньков.

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН  
ВНИИ технической физики им. академ. Е.И. Забабахина

21 марта 2017 г.

# Рентгенография на основе ЛИУ



Параметр	Значение
Ток	2 кА
Энергия	20 МэВ (2 МэВ)
Длительность	30-300 нс
Диаметр в фокусе	~ 1-2 мм

- Сильноточный пучок создает сильные электромагнитные поля.
- Высокая плотность выделения энергии в мишени приводит к образованию мишенной плазмы.
- Плазма изменяет картину полей и нарушает силовое равновесие в пучке.
- Наиболее опасно влияние плазмы в многоимпульсном режиме.

# План доклада (проблемы)

Проблема первого импульса:

- Вытягивание быстрых ионов отрицательным зарядом пучка приводит к изменению полей вблизи мишени и нарушению фокусировки.

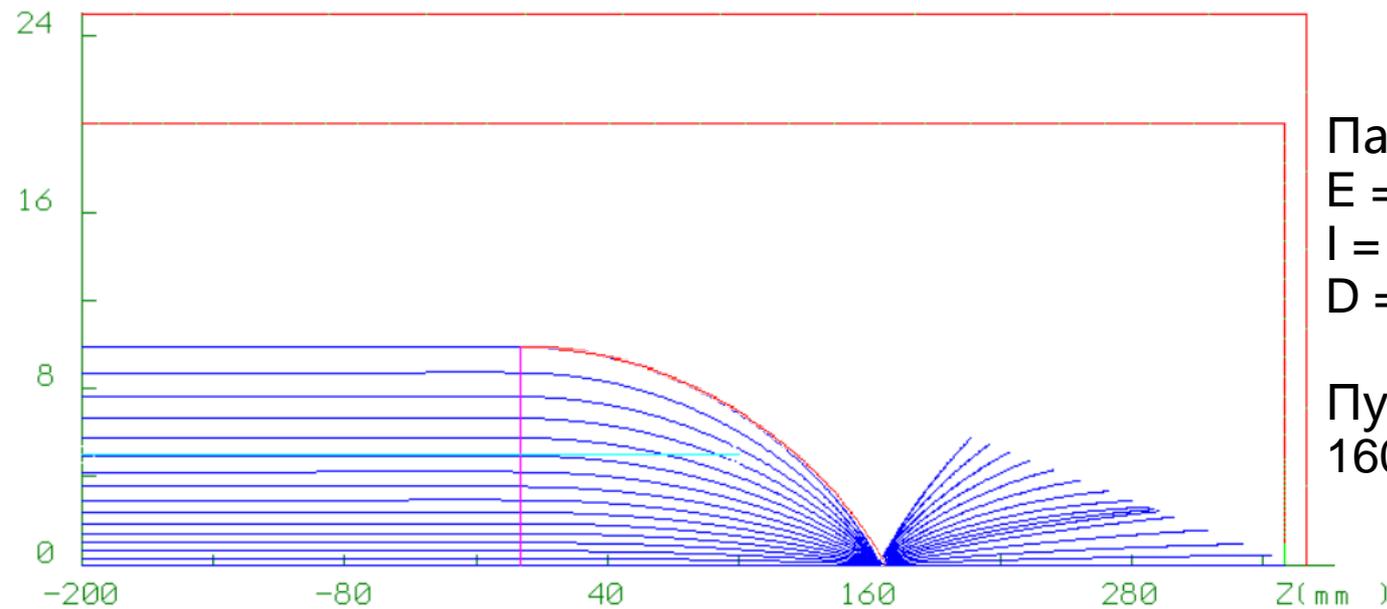
Проблемы второго импульса:

- Разлет мишени приводит к снижению эффективности конверсии.
- Нейтрализация пучка по заряду в паро-плазменном облаке.
- *Обратный ток пучка может течь через плазменный факел. Асимметрия тока приводит к отклонению пучка (?)*
- *Коллективная релаксация пучка в плазме (?)*

# Влияние зарядовой нейтрализации на пучок

Сила, действующая на крайний электрон пучка:

$$F = e(E - \frac{v}{c} B) = \frac{2Ie}{v} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \frac{1}{r} = \frac{2Ie}{v\gamma^2} \frac{1}{r}$$



Параметры пучка:

$E = 20$  МэВ

$I = 2$  кА

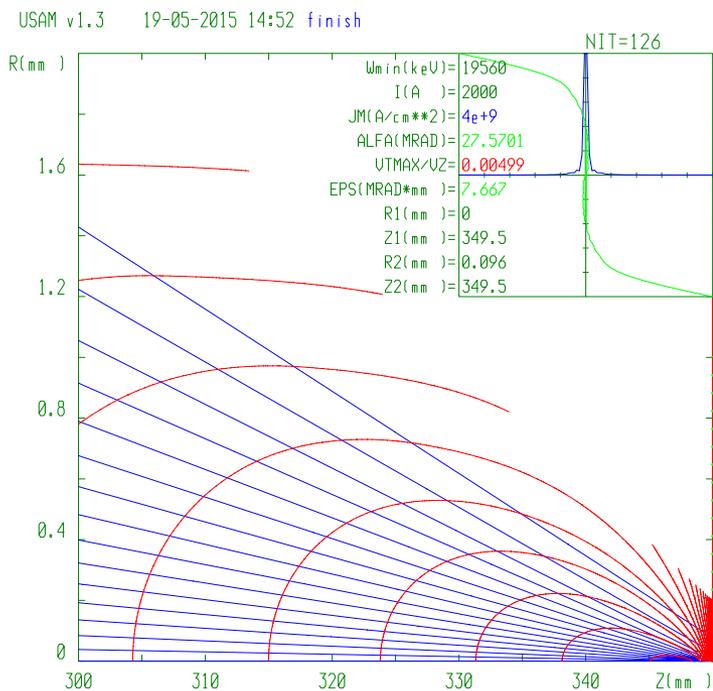
$D = 20$  мм

Пучок пинчуется на длине  
160 мм.

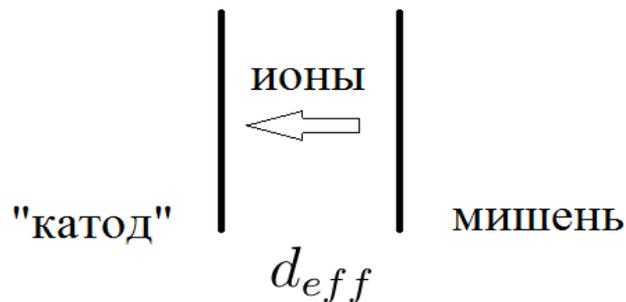
$$z^* = r_0 \sqrt{\pi \frac{I_A}{4I_b}} \sim 10 \text{ см}$$

# Эмиссия ионов с поверхности мишени (первый импульс)

- Источником ионов может быть ионизация примесей на поверхности или плотная плазма вещества мишени.
- Ионы вытягиваются и ускоряются электрическим полем навстречу пучку.
- Ионный поток компенсирует заряд электронного пучка и нарушает фокусировку.
- Наиболее опасны легкие примеси. За 100 нс пучок нейтрализуется на протяжении ~ 0,5м при эмиссии ионов



Траектории пучка вблизи мишени и карта потенциала (UltraSAM)

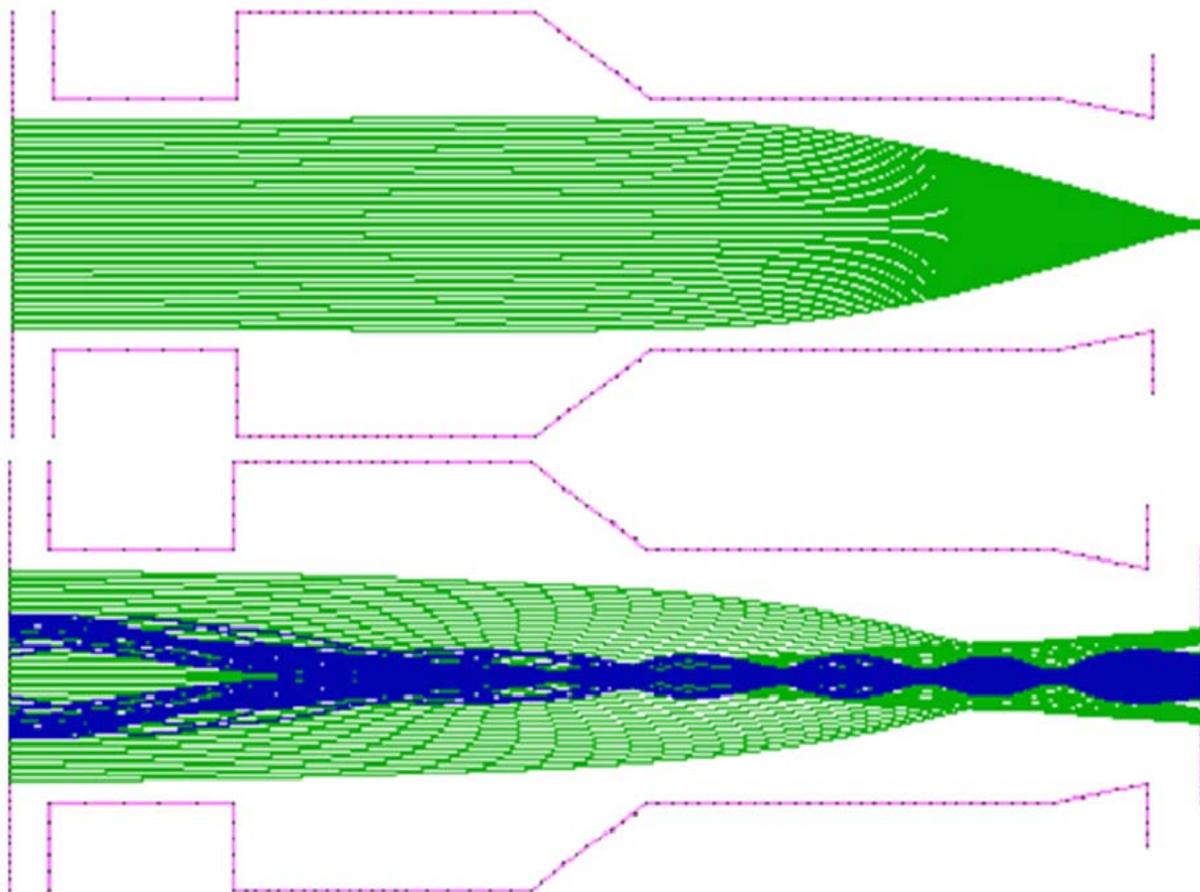


$$\varphi_b \approx \frac{\pi d_b^2}{4} \rho_b \left( 1 + 2 \ln \frac{d_w}{d_b} \right)$$

$$j_i = \frac{1}{9\pi} \sqrt{\frac{2e}{m_i}} \frac{U^{3/2}}{d_{eff}^2} = V_i \frac{U}{9\pi d_{eff}^2}$$

$$f = \frac{\rho_i}{\rho_b} \approx \frac{d_b^2 \left( 1 + 2 \ln \frac{d_w}{d_b} \right)}{36 d_{eff}^2} \sim 10\%$$

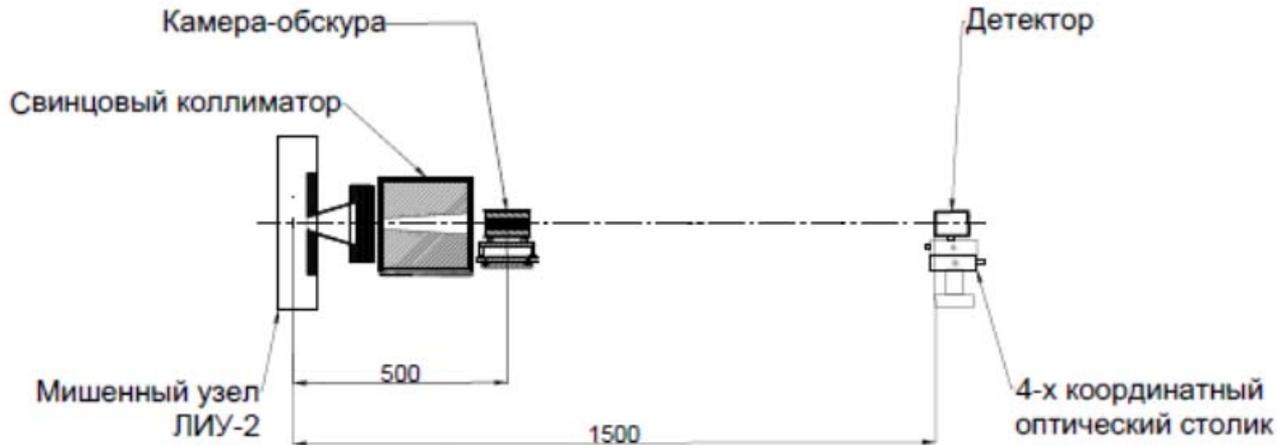
# Моделирование нейтрализации пучка ПОТОКОМ ИОНОВ



Моделирование  
программой  
POISSON-2

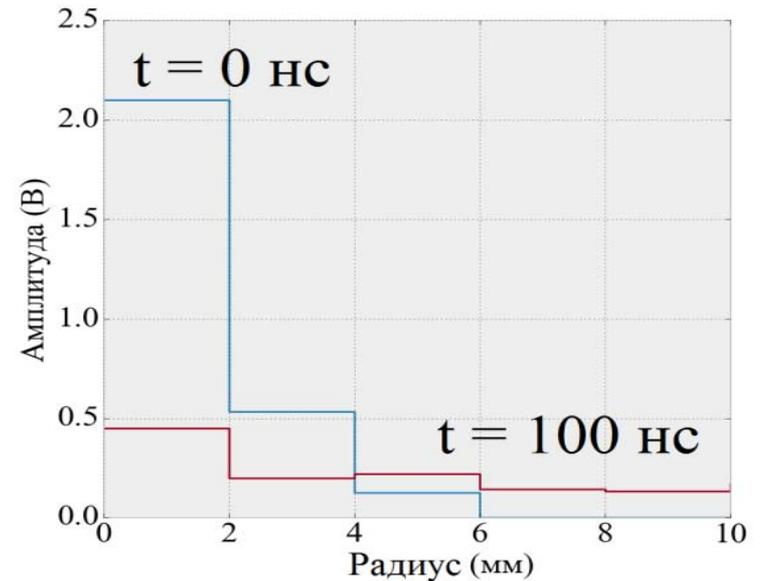
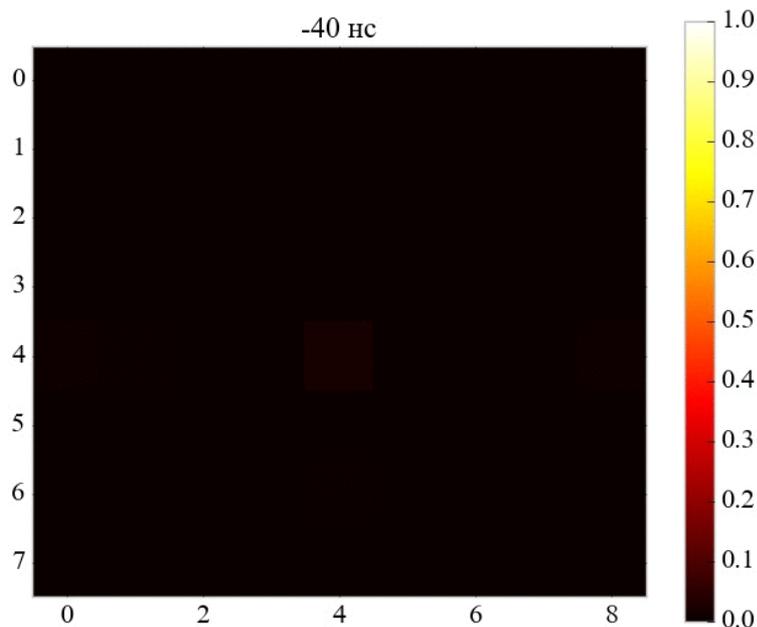
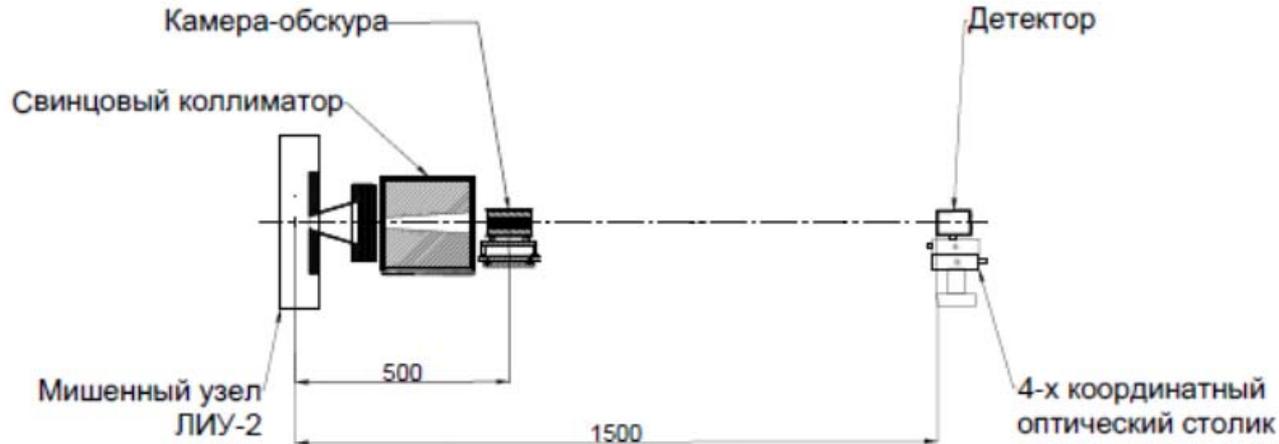
Параметры пучка:  
 $E = 2$  МэВ  
 $I = 2$  кА

# Система регистрации фокального пятна ускорителя с временным



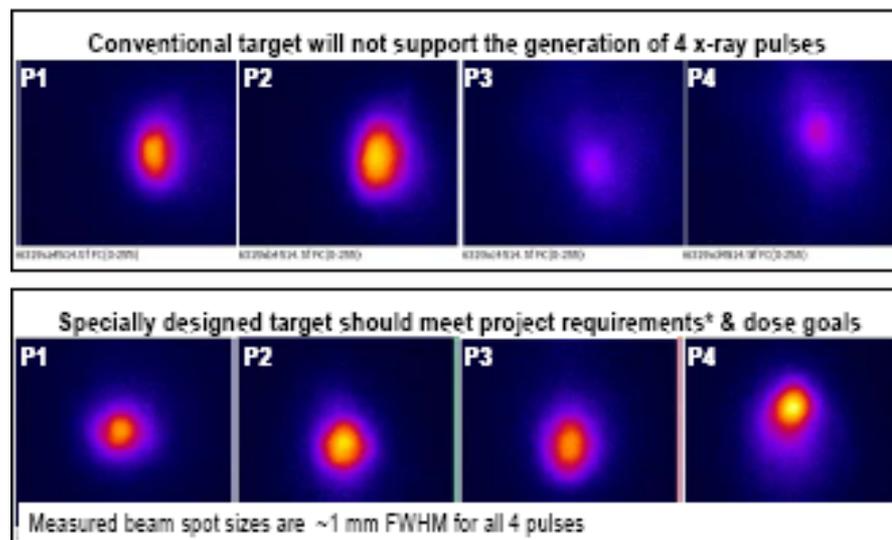
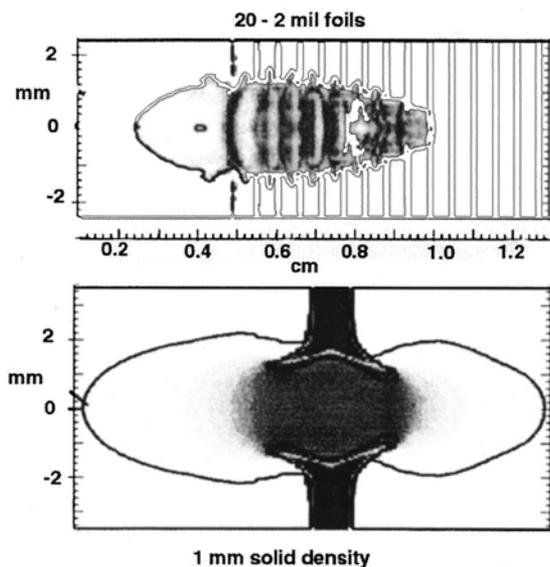
- Для исследования динамики фокального пятна во время импульса ускорителя создана быстрая система регистрации тормозного излучения.
- Камера обскура проектирует изображение пучка с тормозной мишени на детектор.
- Детектор имеет 16 каналов, расположенных крестом.
- Временное разрешение системы регистрации 20 нс.

# Система регистрации фокального пятна ускорителя с временным



# Многоимпульсный режим (зарубежный опыт)

- 1) При малом времени задержки  $\sim 1$  мкс замедлить разлет плазмы можно используя распределенную мишень.  
*Pincosy, P. A. et al, Rev. Sci. Instr., 72, 2599 (2001).*

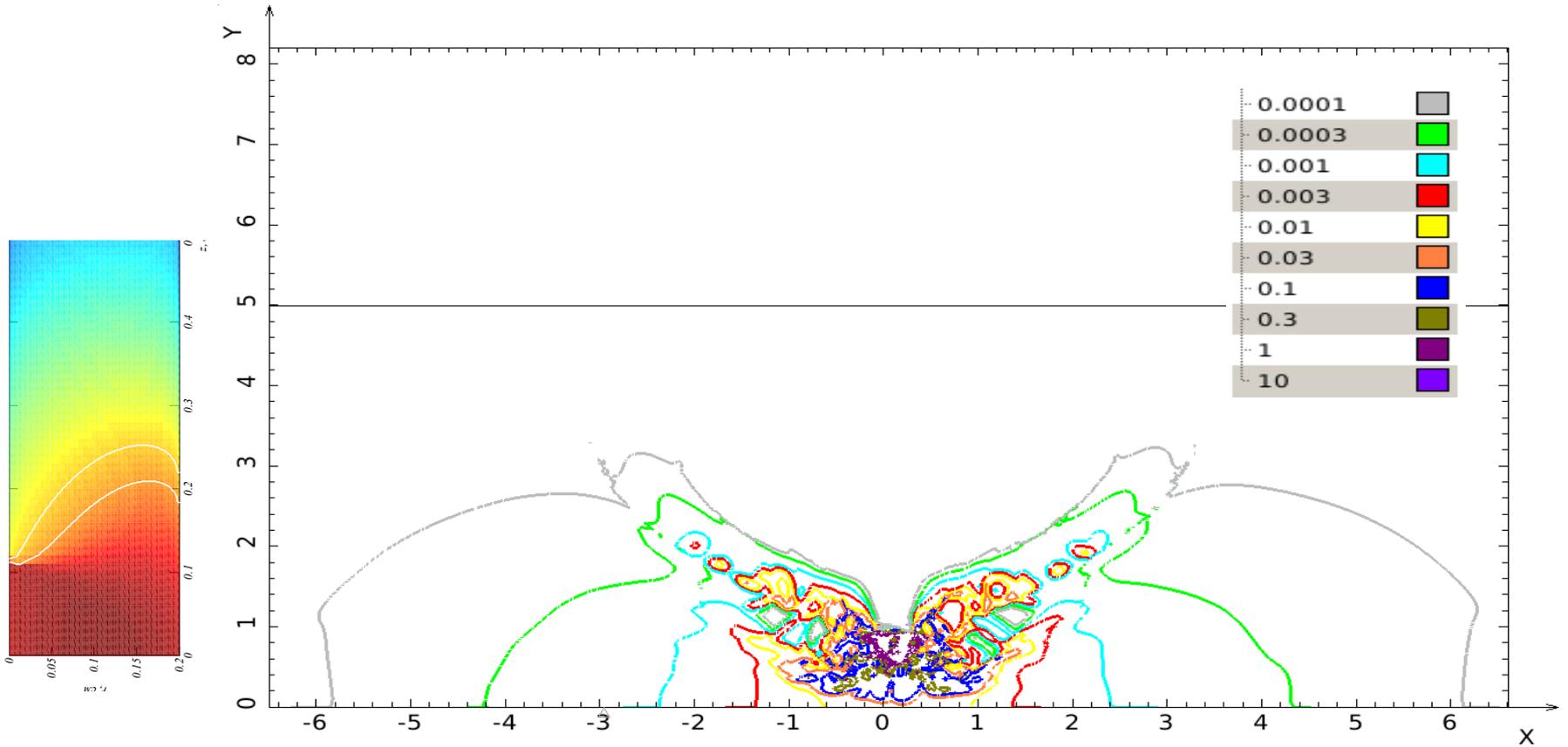


Результаты гидродинамического моделирования и изображение пучка на конверторе DARHT-II в четырех последовательных импульсах, в первой строке «обычная» мишень, нижняя строка «модифицированная» мишень.

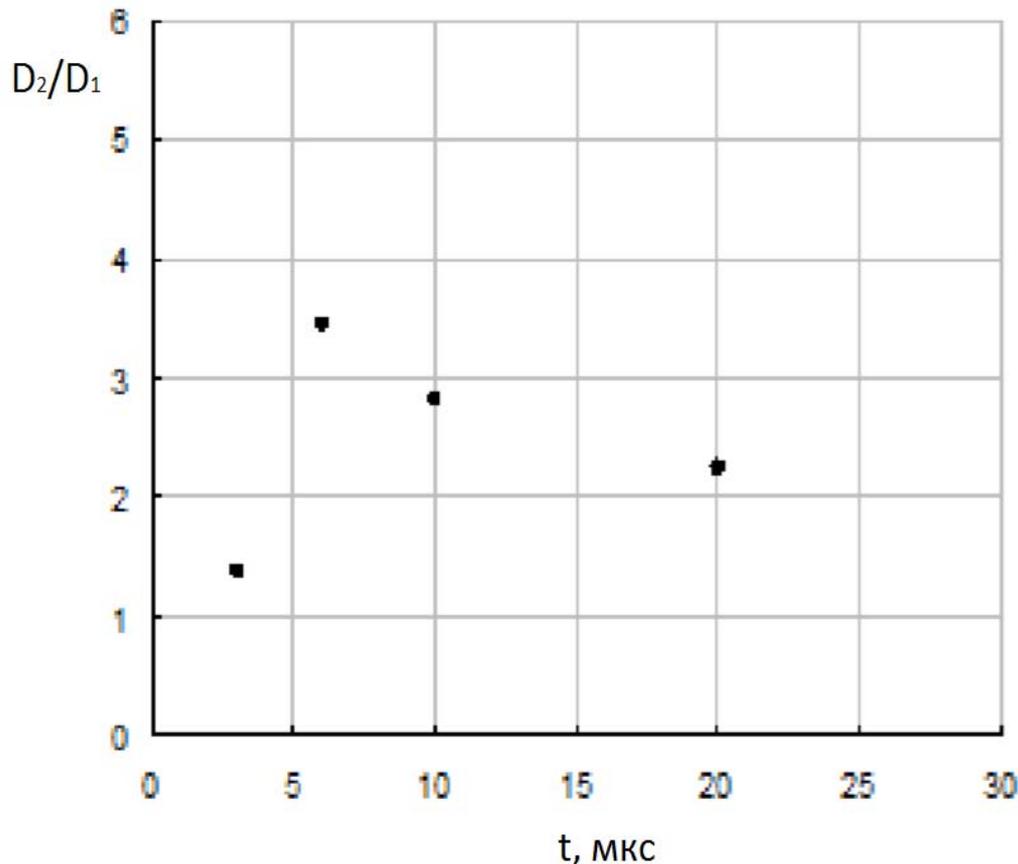
**При задержке  $\sim 10$  мкс этот путь не имеет смысла.**



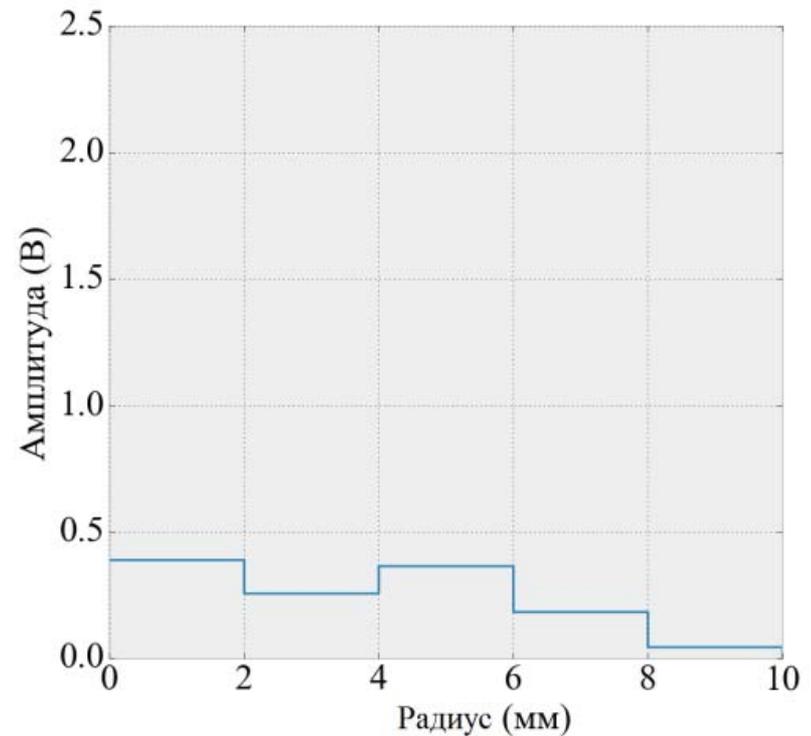
# Изолинии плотности в разлетающейся мишени на момент $t = 10$ мкс (2 МэВ)



# Экспериментальное исследование многоимпульсного режима



Отношение диаметров пучка во втором и первом импульсах в зависимости от задержки между ними.



Характерный радиальный профиль во втором импульсе.

# Заключение

- Вытягивание быстрых ионов отрицательным зарядом пучка может приводить к дефокусировке пучка ЛИУ уже в первом импульсе.
- Разлет мишени приводит к снижению эффективности конверсии при использовании тонких мишеней. Плотное паро-плазменное облако выбрасывается навстречу пучку второго импульса и должно влиять
- Экспериментально зарегистрирована динамическая дефокусировка пучка ЛИУ в первом импульсе и значительное уширение во втором.
- Реализация многоимпульсного режима с задержкой  $\sim 10$  мкс требует разработки мишени-конвертора на основе новых подходов.

**Спасибо за внимание!**