

Экспериментальное исследование генерации пучков релятивистских электронов в газовых струях под действием высокоинтенсивных лазерных импульсов

В.А. Флегентов, К.В. Сафронов, С.А. Горохов, А.С. Тищенко, Д.О. Замураев, А.Л. Шамраев, С. Ф. Ковалева, Д.С. Гаврилов, Я.В. Лосев, В.В. Меньшенин, А.В. Потапов



РОСАТОМ



Режимы ускорения электронных пучков

Ускорение в низкоплотных газовых мишенях

Спектр: квазимонохроматический
Энергия электронов: до единиц ГэВ
Заряд электронов в пучке: десятки пКл



X. Wang *et al.*, Nature Communications V.4, No.1988 (2013)
W. P. Leemans *et al.*, Phys. Rev. Lett. 113, 245002 (2014)

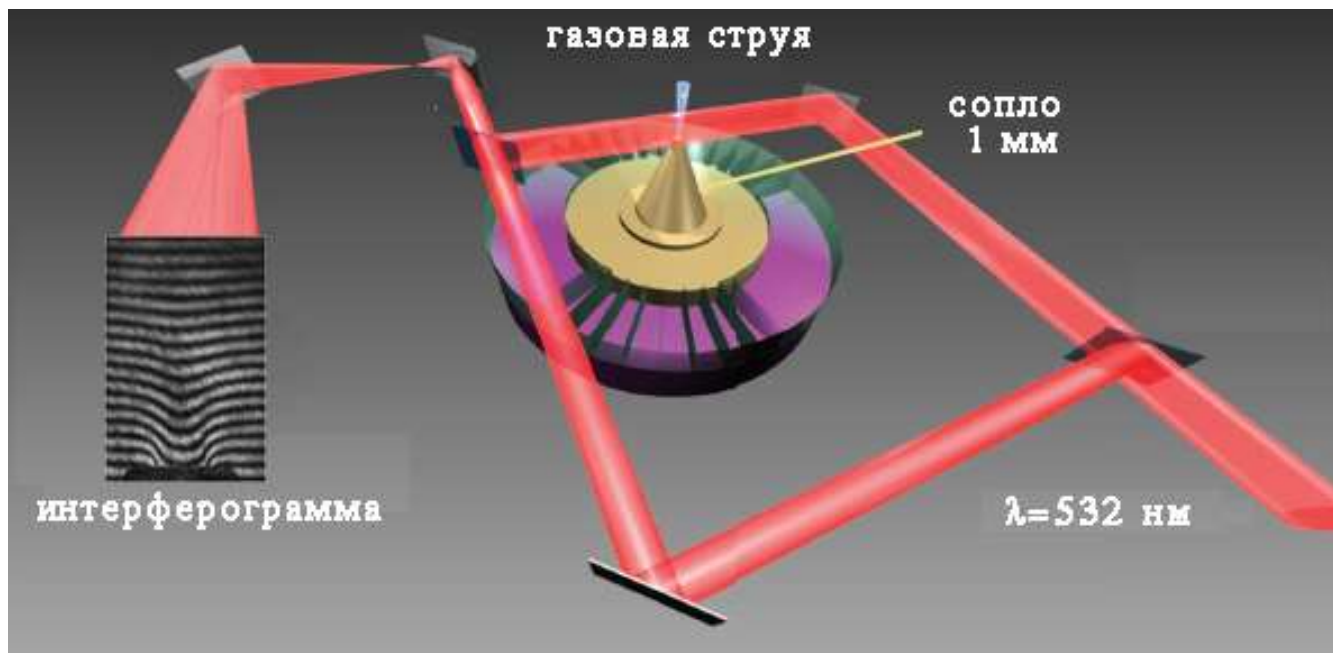
Ускорение в плотных газовых струях

Спектр: экспоненциальный
Энергия электронов: десятки МэВ
Заряд электронов в пучке: единицы нКл



V. Malka *et al.*, Phys. Plasmas, Vol. 8, No. 6 (2001)
M. Mirzaie *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 86, 103502 (2015)

Измерение параметров газовых струй



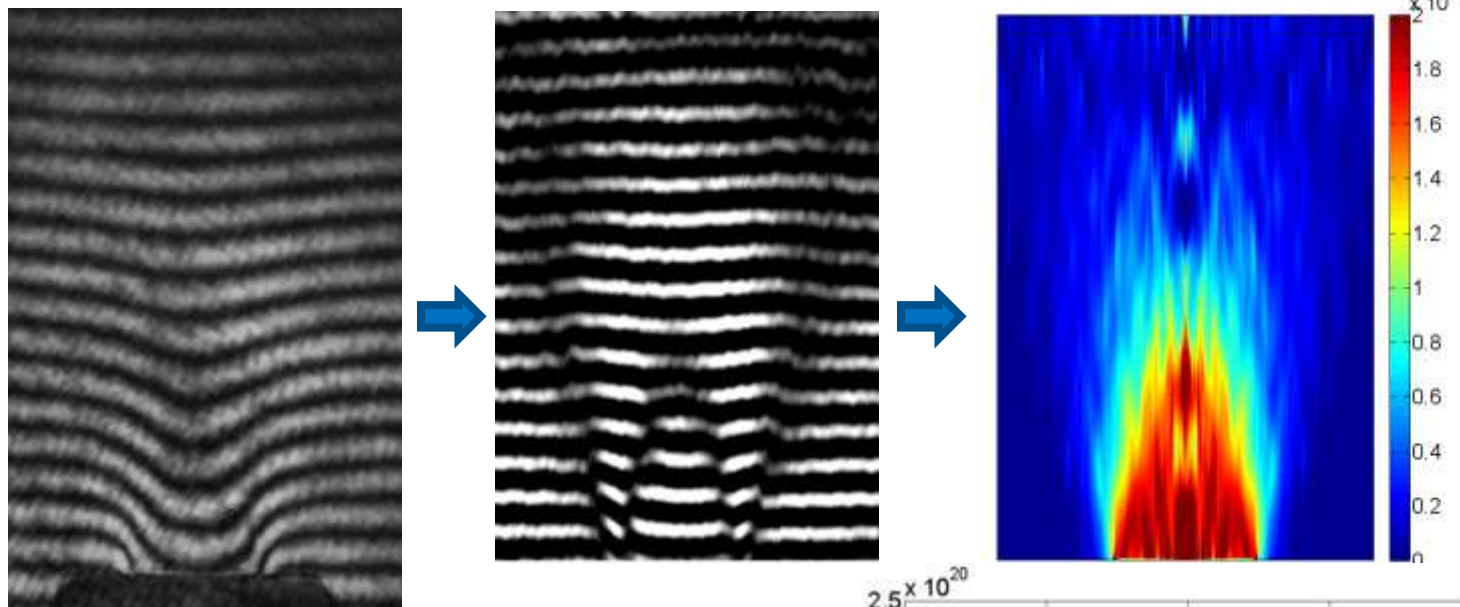
Принципиальная схема интерферометра Маха-Цендера

Быстрый клапан: Parker Hannifin

Рабочий газ: Ar (имеет больший коэффициент преломления по сравнению с He)

Синхронизация: снимки производились **через 5 мс** после подачи импульса на открытие клапана

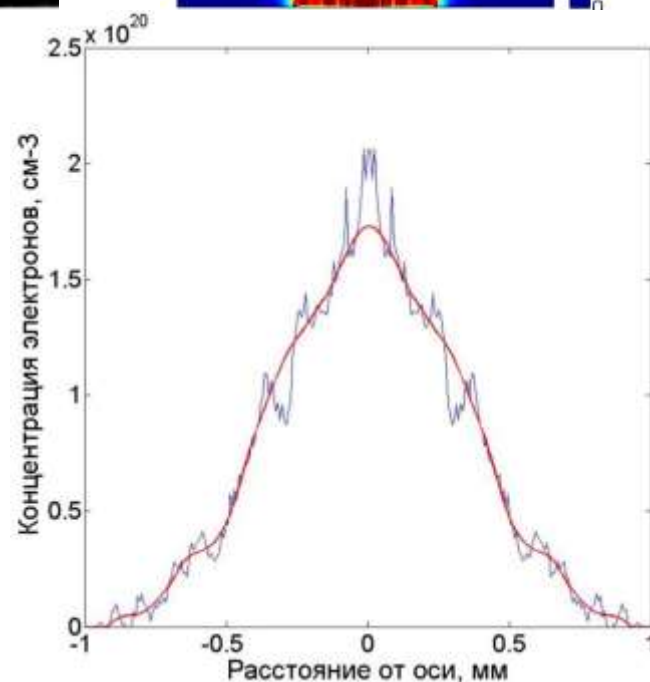
Измерение параметров газовых струй



Профиль газовой струи на расстоянии 1 мм над соплом



Плотность He струй в экспериментах:
 $n_e \sim 5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3} \div 2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$
($0,05 n_c \div 0,2 n_c$)



Постановка экспериментов

Параметры установки:

Ti:Sa, CPA

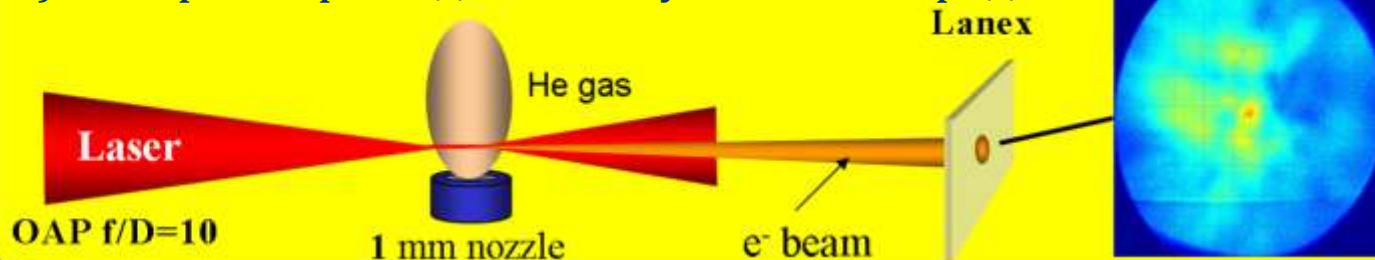
100 ТВт (800 нм, 30 фс, 10 Гц)

Мишень:

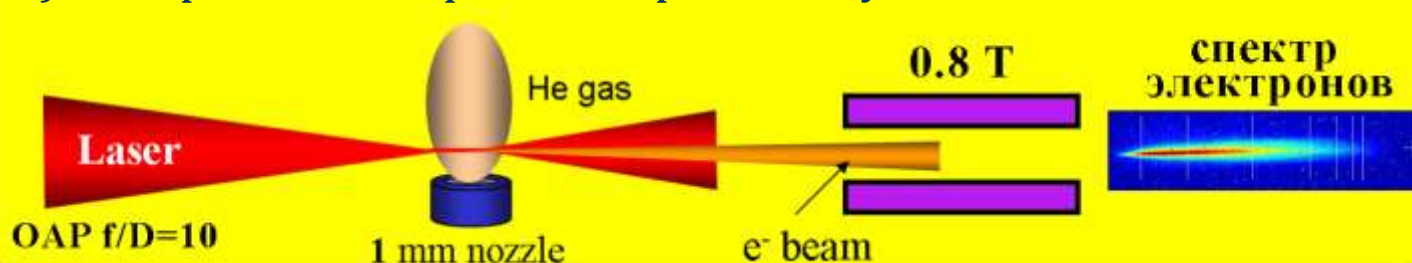
He струя

$n_e \sim 5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3} \div 2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$

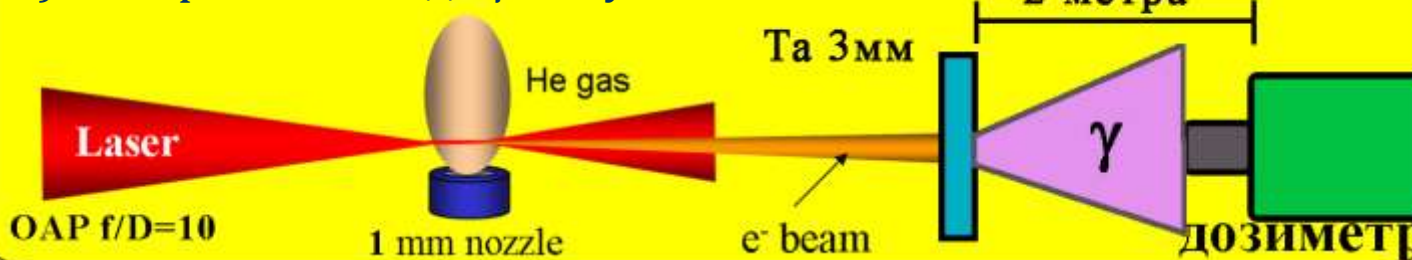
1) Измерение расходимости пучка и его заряда



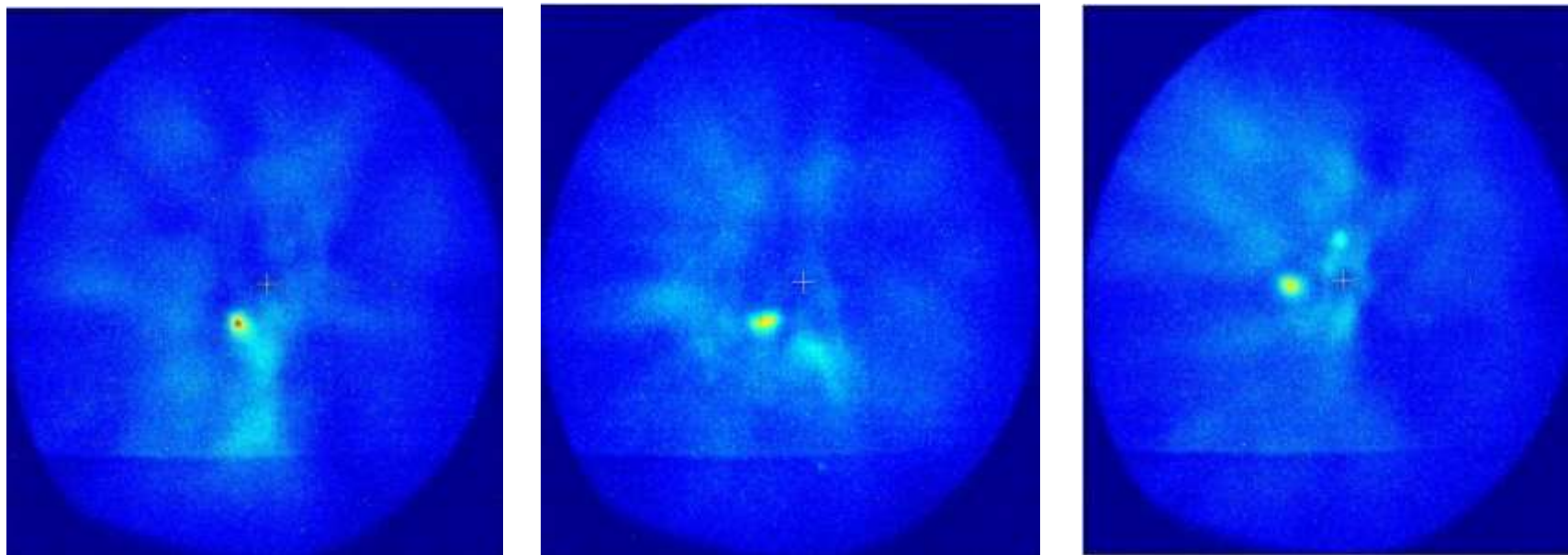
2) Измерение спектров электронных пучков



3) Измерение выхода γ -излучения



Измерение расходимости пучка и его заряда



Серия последовательных выстрелов при плотности струи на оси $n_e \sim 5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$

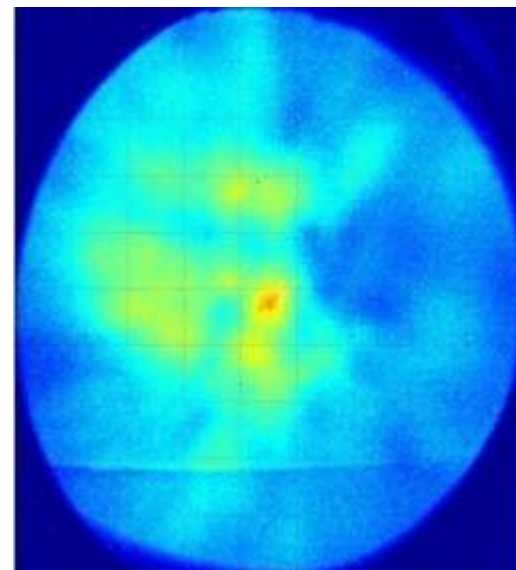
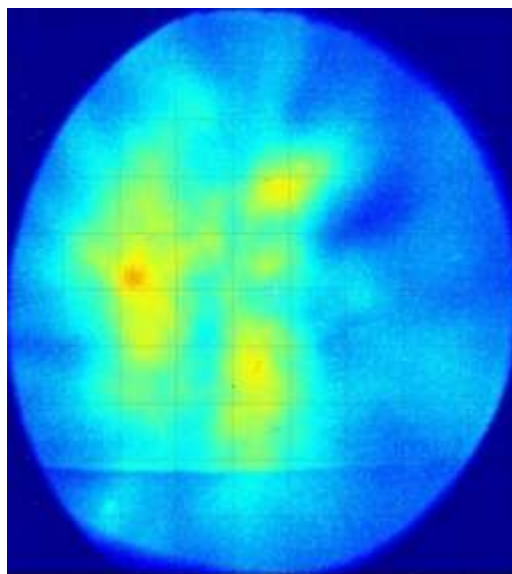
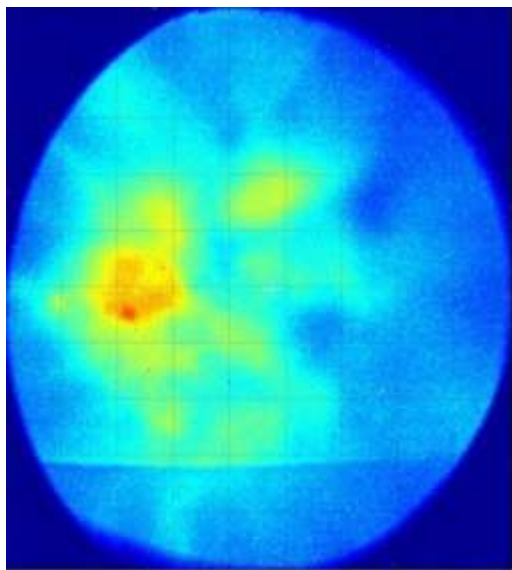
Расходимость пучка ~ 10 мрад (FWHM)

Наблюдается позиционная нестабильность пучков (до 30 мрад) от выстрела к выстрелу

Заряд в пучке $Q \sim 0,1$ нКл

Выход γ -излучения **нестабилен**, по-видимому, из-за плохой позиционной стабильности пучка!

Измерение расходимости пучка и его заряда



Серия последовательных выстрелов при плотности струи на оси $n_e \sim 2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$

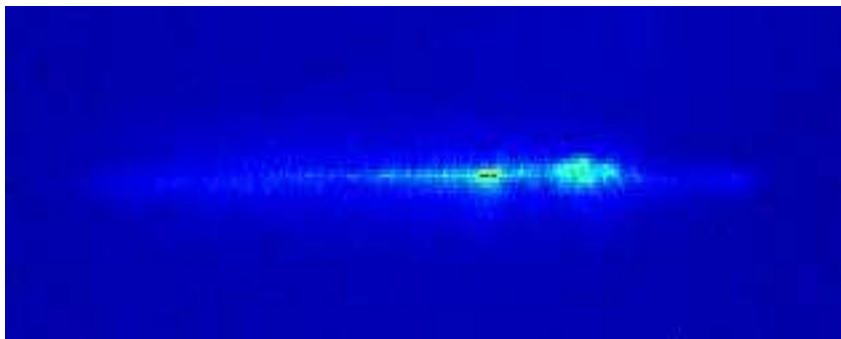
Расходимость пучков **до 300 мрад**

Наблюдается неоднородное распределение заряда пучков на экране, по-видимому, в результате **филаментации**, о чем свидетельствуют фотографии с боковой камеры

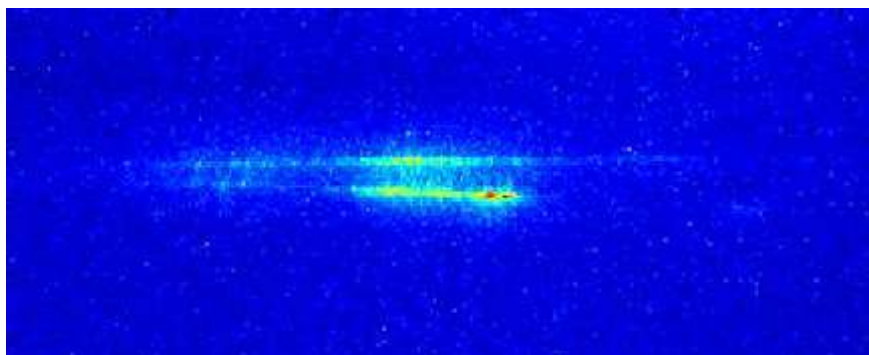
Заряд в пучке **$Q \sim 0,4-0,6 \text{ нКл}$**

Такой режим генерации приводит к стабильно высокому выходу γ -излучения

Снимки филаментов с боковой камеры



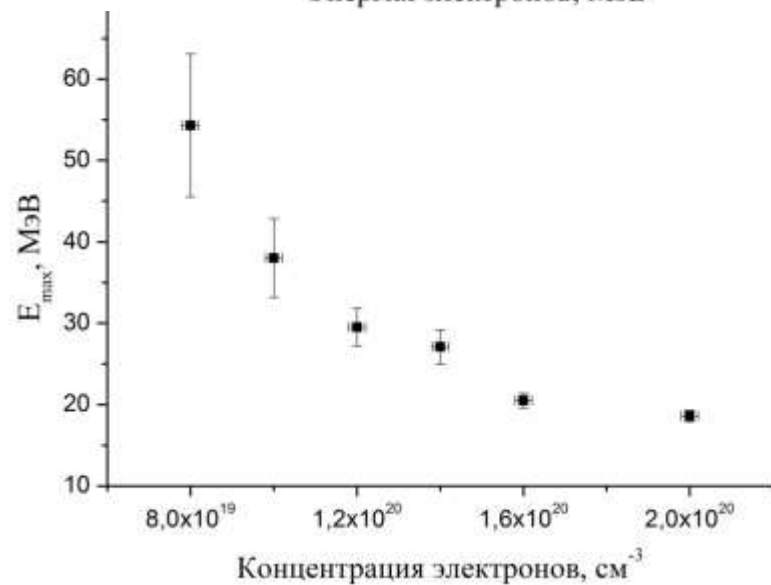
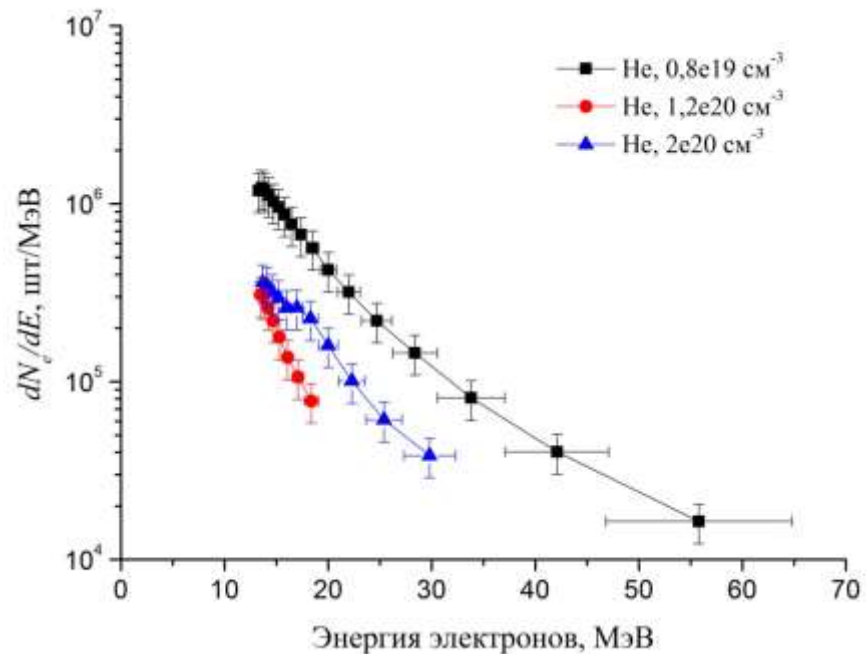
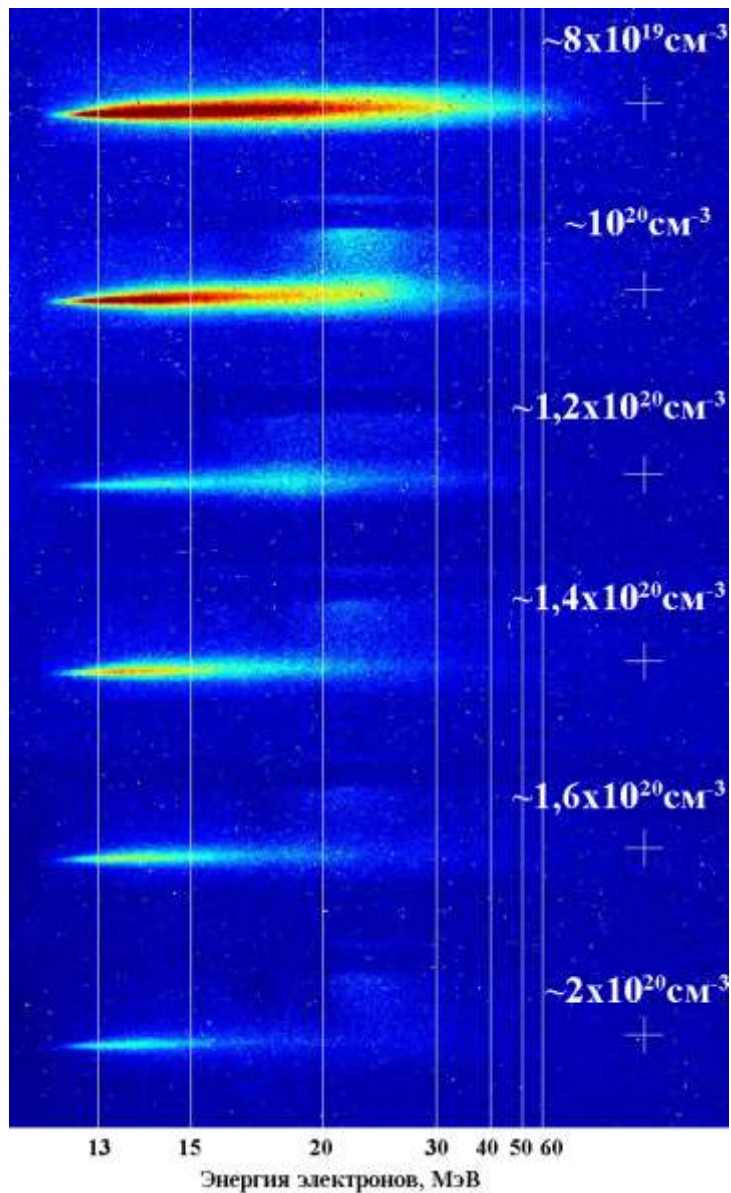
Пример изображения импульса без филаментации



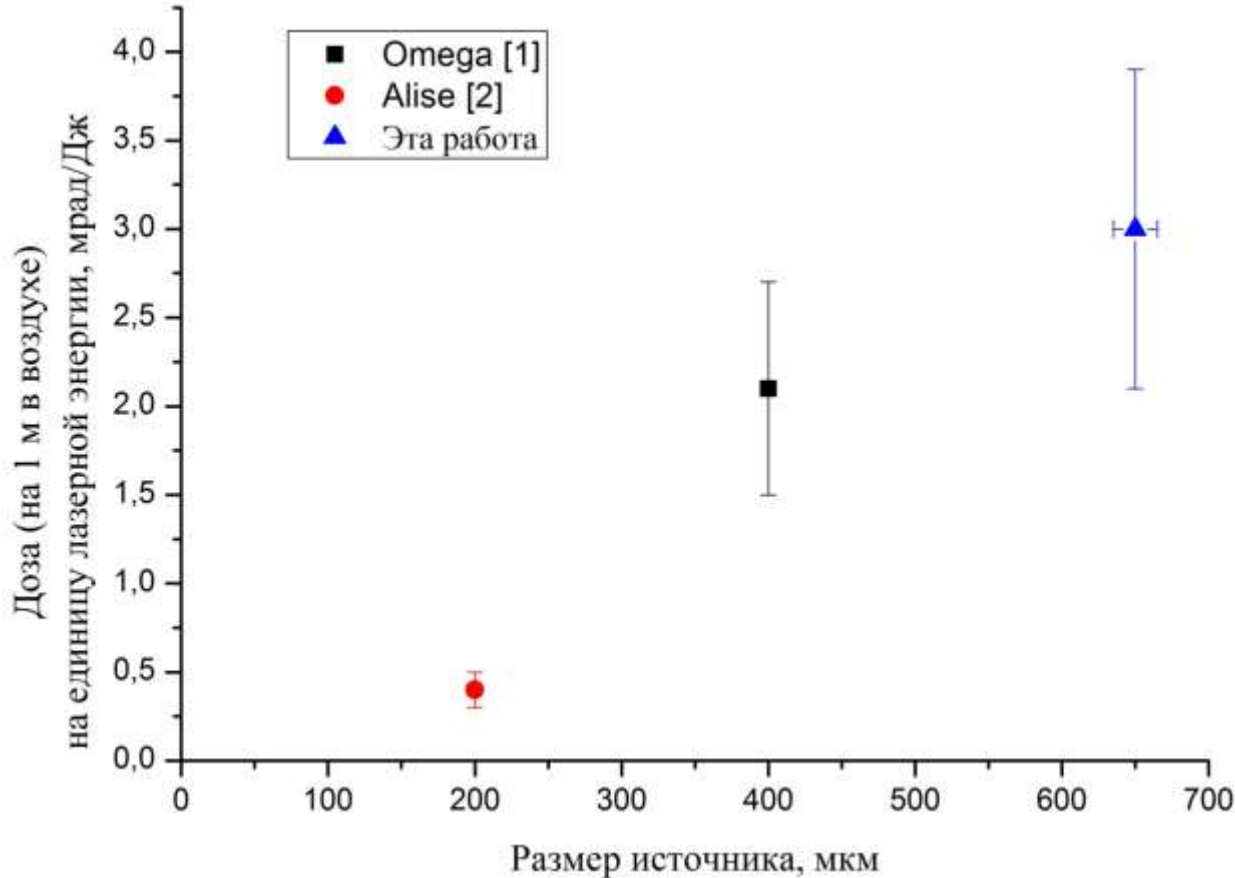
Филаментация лазерного импульса в плотной газовой струе

Генерация с филаментацией также отмечается высокими выходами жесткого рентгеновского излучения

Измерение спектров генерируемых электронов



Сравнение с публикациями



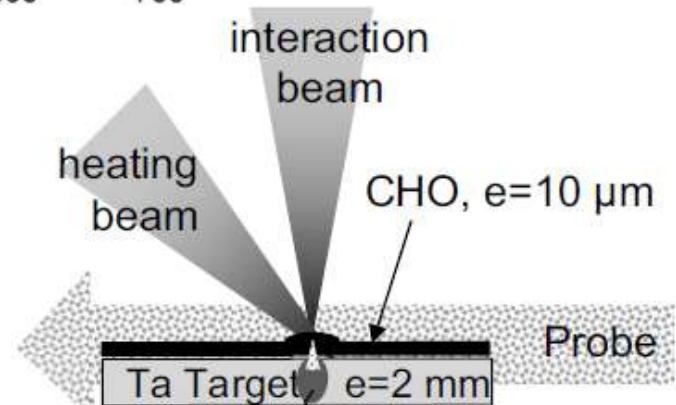
1,5 мрад/импульс

650±15 мкм (FWHM)

Использование
конвертера
оптимальной толщины
позволит еще
уменьшить размер
источника

Omega (1,5 кДж, 9 пс, 1.053 мкм), конвертер Ta 2 мм
[1] C. Courtois *et al*, Phys. Plasmas 20, 083114 (2013)

Alise (30 Дж, 1 пс, 1.053 мкм), конвертер Ta 2 мм
[2] C. Courtois *et al*, Physics of Plasmas 16, 013105 (2009)



Выводы

- 1) Экспериментально исследованы параметры пучков релятивистских электронов ускоряемых при взаимодействии с плотными (до $n_e \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$) газовыми (He) струями фемтосекундных лазерных импульсов 100 ТВт мощности.
- 2) Генерация сопровождается неустойчивостями приводящими к экспоненциальному спектру генерируемых электронов, высокой расходимости пучка и его низкой направленности. Зарегистрированный заряд генерируемых пучков электронов составил 0,2-0,6 нКл, максимальная энергия электронов 60 МэВ, расходимость пучков до 300 мрад.
- 3) Измерены выходы жесткого рентгеновского излучения в таком режиме генерации. Доза жесткого рентгеновского излучения создаваемая в воздухе на расстоянии 2 м от источника на оси лазерного импульса составила: $\sim 1,5$ мрад/импульс.
- 4) По эффективности генерации жесткого рентгеновского излучения исследованный режим, даже при текущих параметрах генерируемого электронного пучка превосходит альтернативные в которых генерация производится при непосредственном взаимодействии лазерного импульса с поверхностью твердотельной мишени, при сходных характеристиках спектра и направленности излучения, а также размера источника.