



Долговременная эволюция кильватерной волны в радиально-ограниченной плазме

Худяков В. К., Лотов К. В.

Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирский государственный университет

В сотрудничестве с:



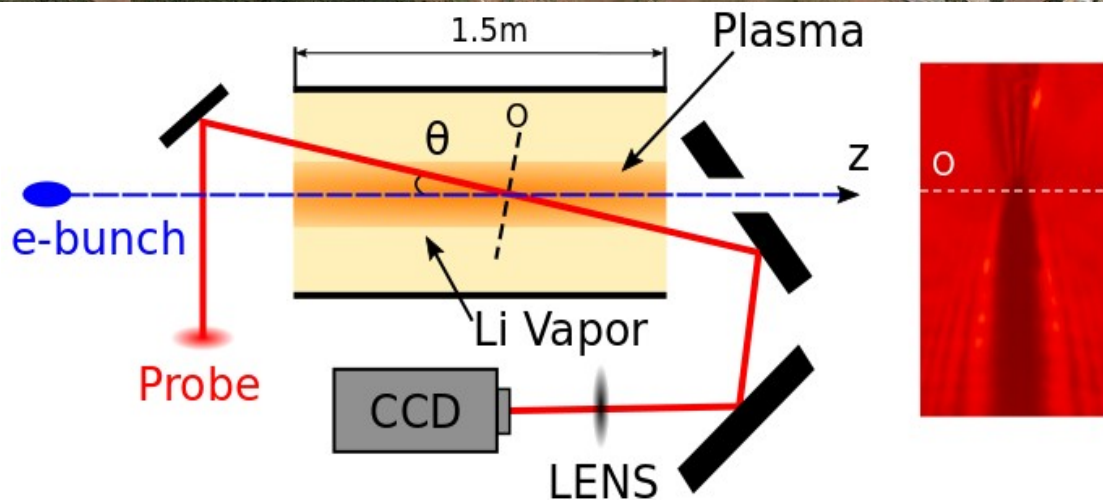
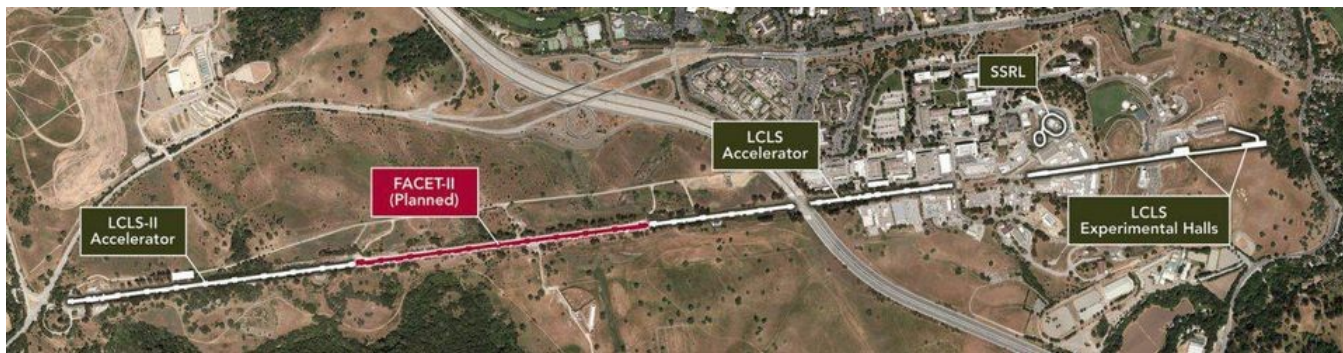
R. Zgadzaj, Z. Li and M. C. Downer
Department of Physics, The University of Texas at Austin, USA



T. Silva and J. Vieira
GoLP/Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear-Laboratório Associado,
Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal



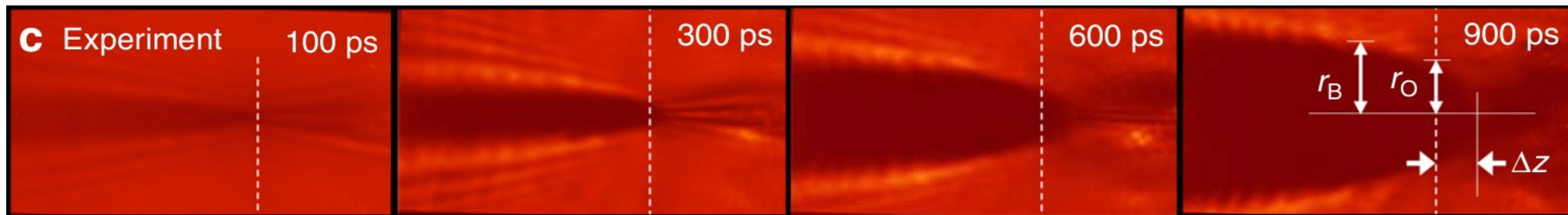
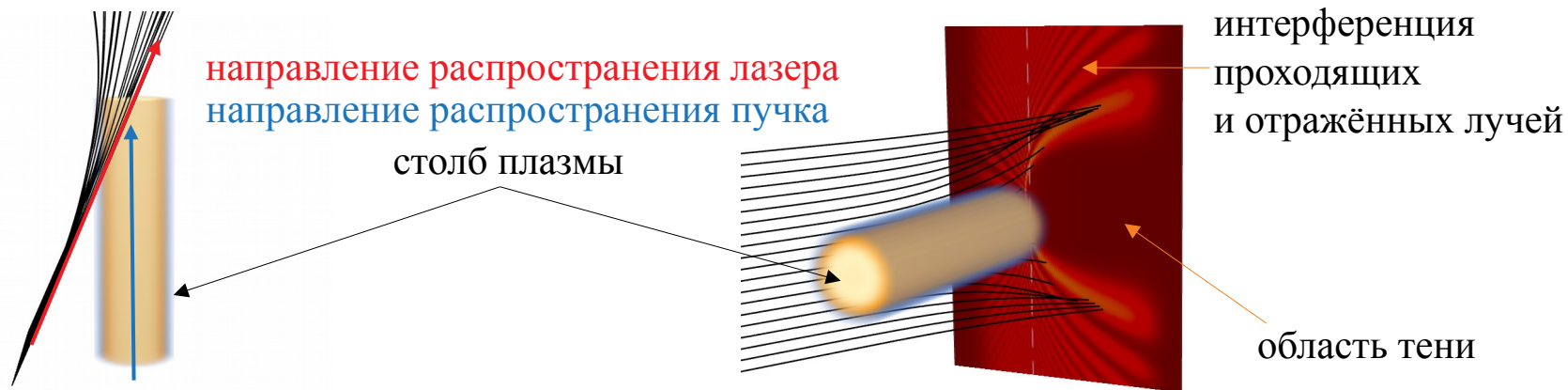
J. Allen, S. Gessner, M. J. Hogan, M. Litos, and V. Yakimenko
SLAC National Accelerator Laboratory, USA



Параметры пучка	
энергия	48 Дж
заряд	2.4 нКл
поперечный размер	30 мкм
продольный размер	55 мкм
Параметры плазмы (Li)	
плотность	$8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$
поперечный размер	50 мкм
Параметры лазера	
длина волны	0.8 мкм
энергия	1 мДж
длительность	0.1 пс



Формирование изображения



Выбранные геометрические характеристики:

r_O – радиус тени на линии O, соответствующей объектной плоскости линзы,

Δz – смещение вершины параболы относительно линии O,

r_B – радиус в произвольно выбранном сечении B.



Численное моделирование эксперимента

OSIRIS
(ионизация полем,
эволюция пучка)



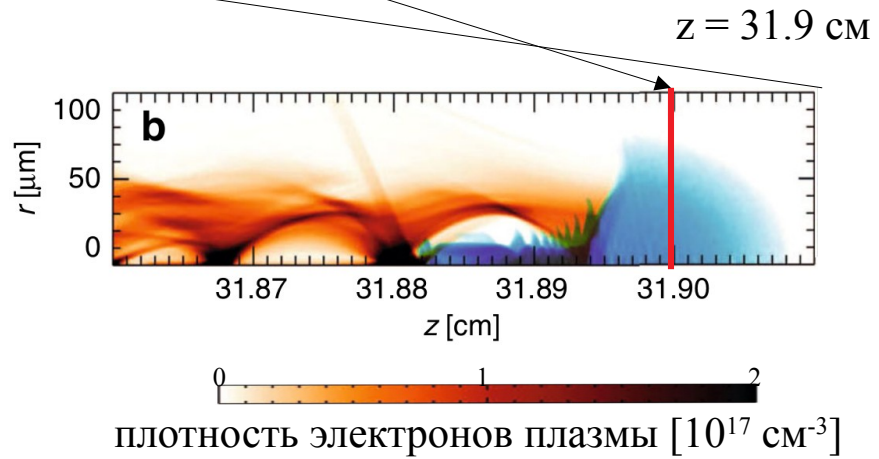
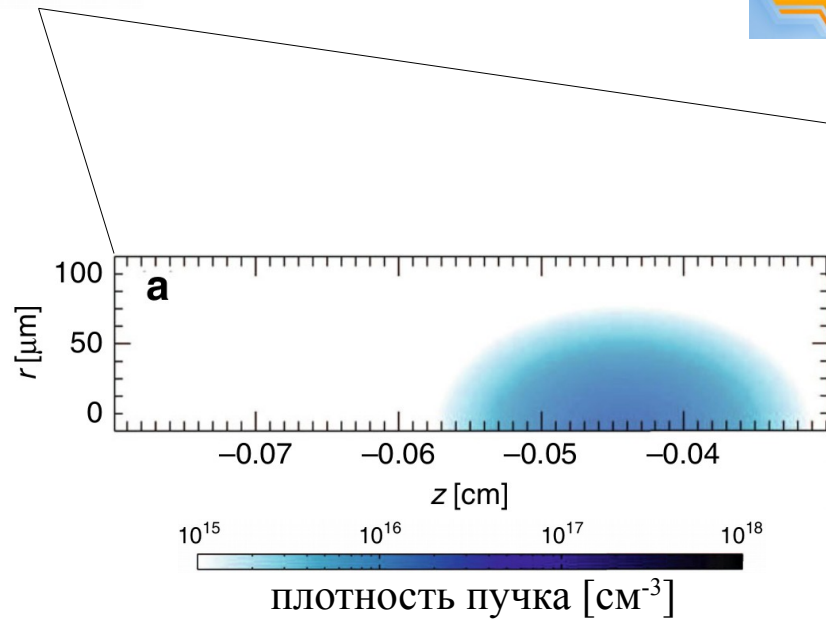
профили пучка и плазмы
←→
согласие на общем
участке (40 пс)

LCODE
(квазистатический,
моделирование до 1.5 нс)



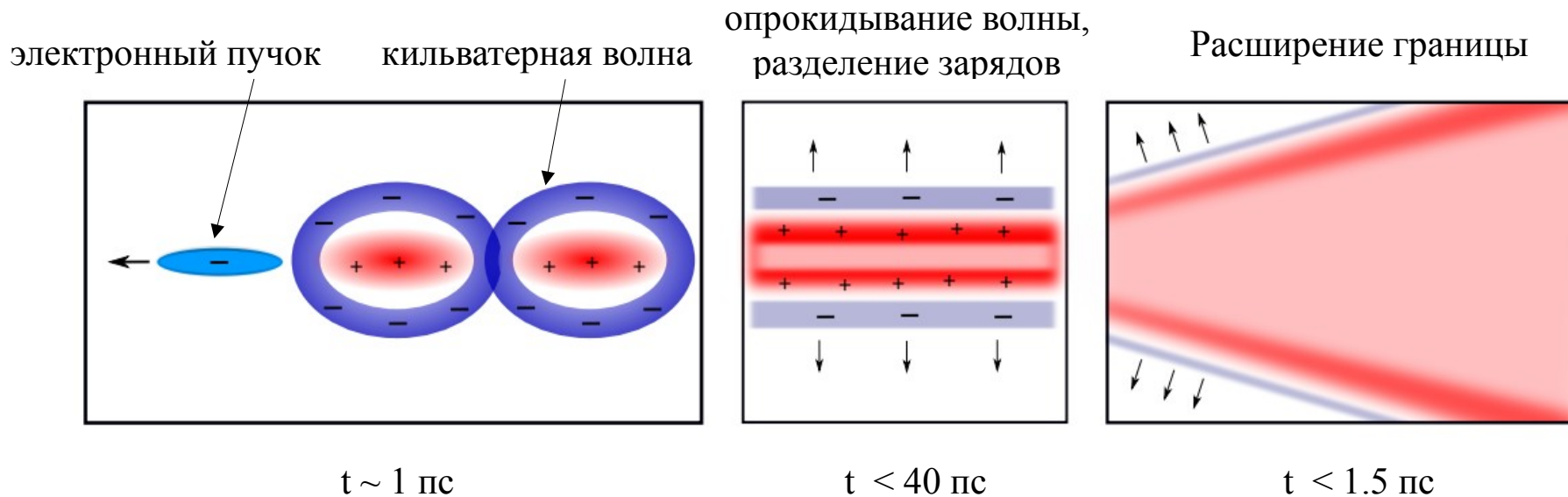
→
профиль плотности
электронов и атомов

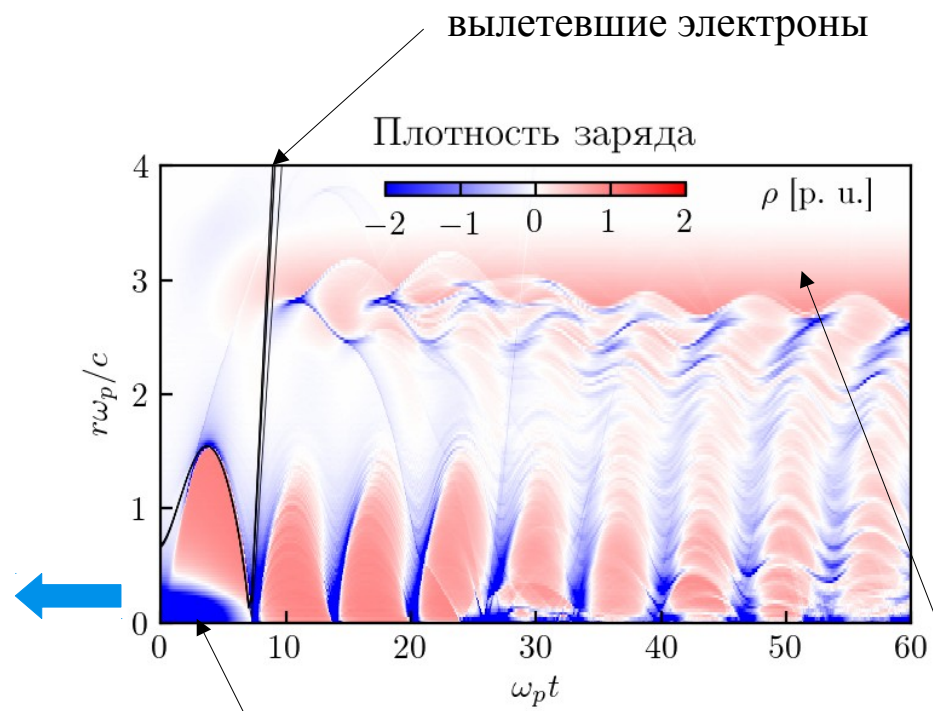
Моделирование прохождения
лазера в среде, сравнение
с экспериментом



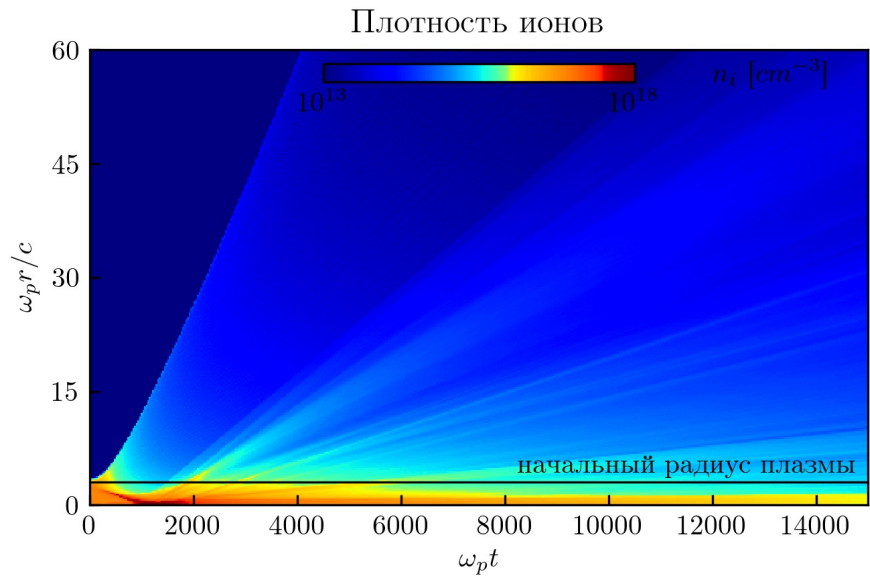
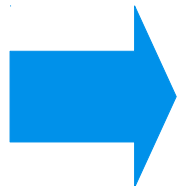


Основные стадии процесса

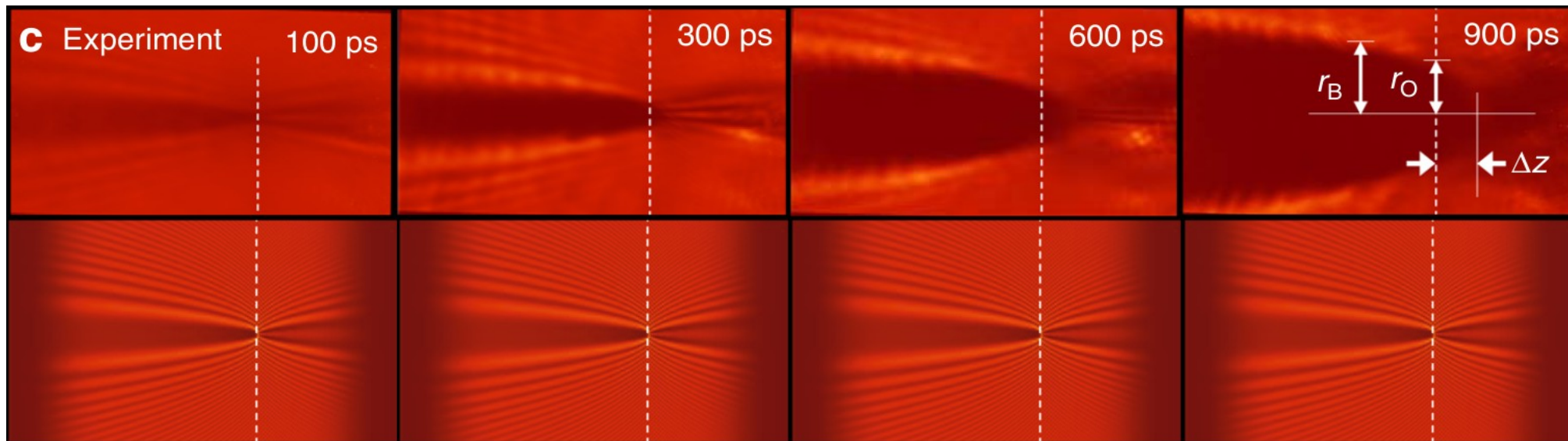




электронный пучок
(летит налево)

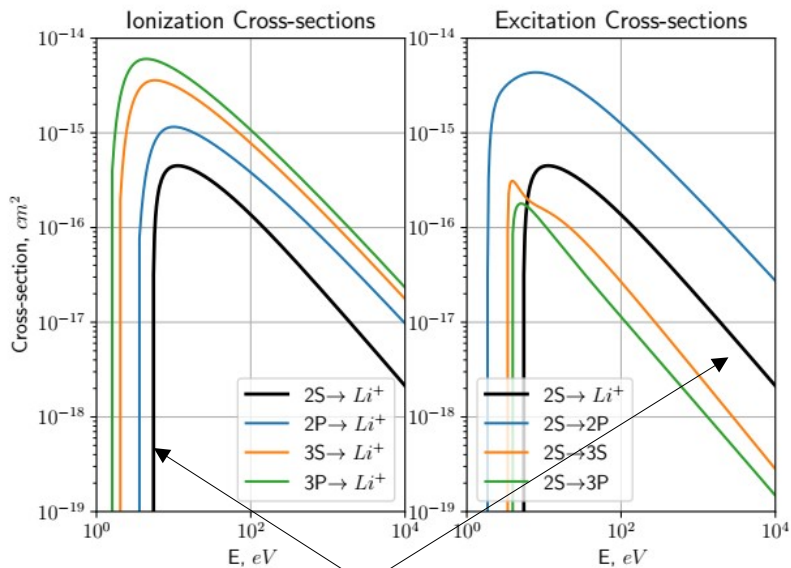


нескомпенсированный заряд



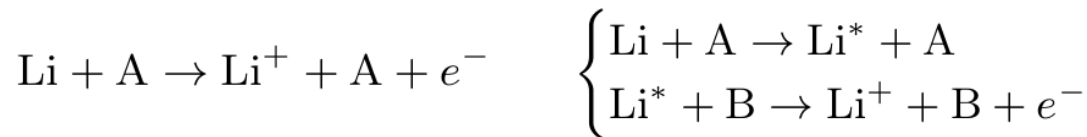
Разлёт исходного столба плазмы не обеспечивает достаточного количества плазмы на больших радиусах

1. Необходимо учёт ионизации.
2. Необходимо правильное перераспределение энергии внутри плазмы на больших временах (парные столкновения).



Ионизация из основного состояния

Ионизация электронным ударом :



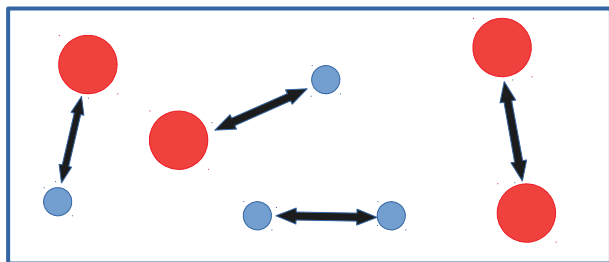
Время спонтанного излучения : $\tau_{sp} \sim \frac{3}{32\pi^3} \frac{\lambda_{fi}^3}{\alpha c a_B^2}$.
 Для состояния 3P ~ 5 нс.

Ионизация ионным ударом :

I. D. Kaganovich, et al., New J. Phys. **8**, 278 (2006)

Кулоновские столкновения :

Разбиение на пары в ячейке. Рассеяние на случайный угол.

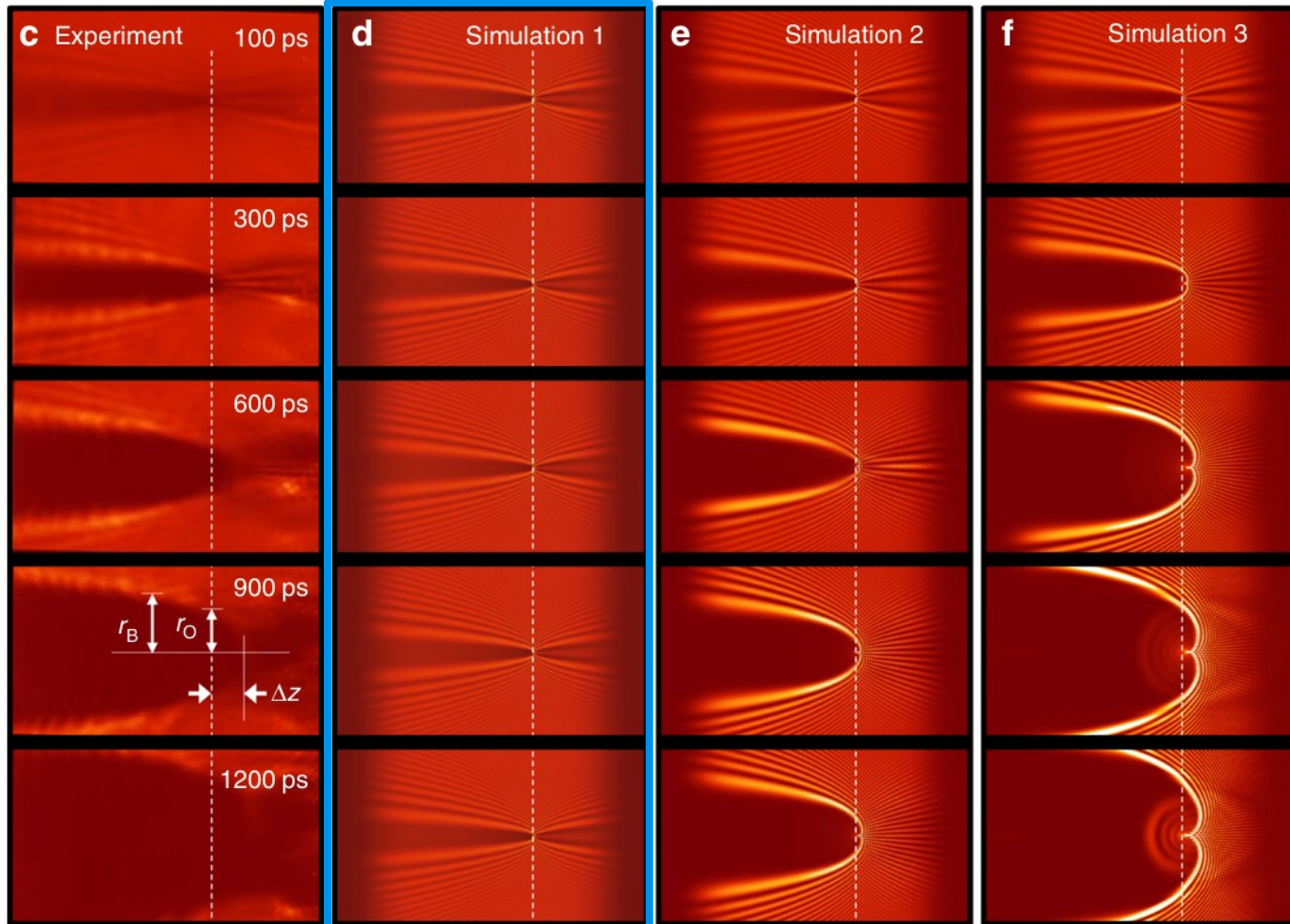


Takizuka, J. Comp. Phys. **25**, 205 (1977), F. Perez, et al., Phys. Plasmas **19**, 083104 (2012).

$$\langle \Theta^2 \rangle = 8\pi\Lambda \left(\frac{e_1 e_2}{p_{cm} v_{rel}} \right)^2 \frac{\gamma_{1cm} \gamma_{2cm}}{\gamma_1 \gamma_2} u_{cm} n_2 \Delta t.$$



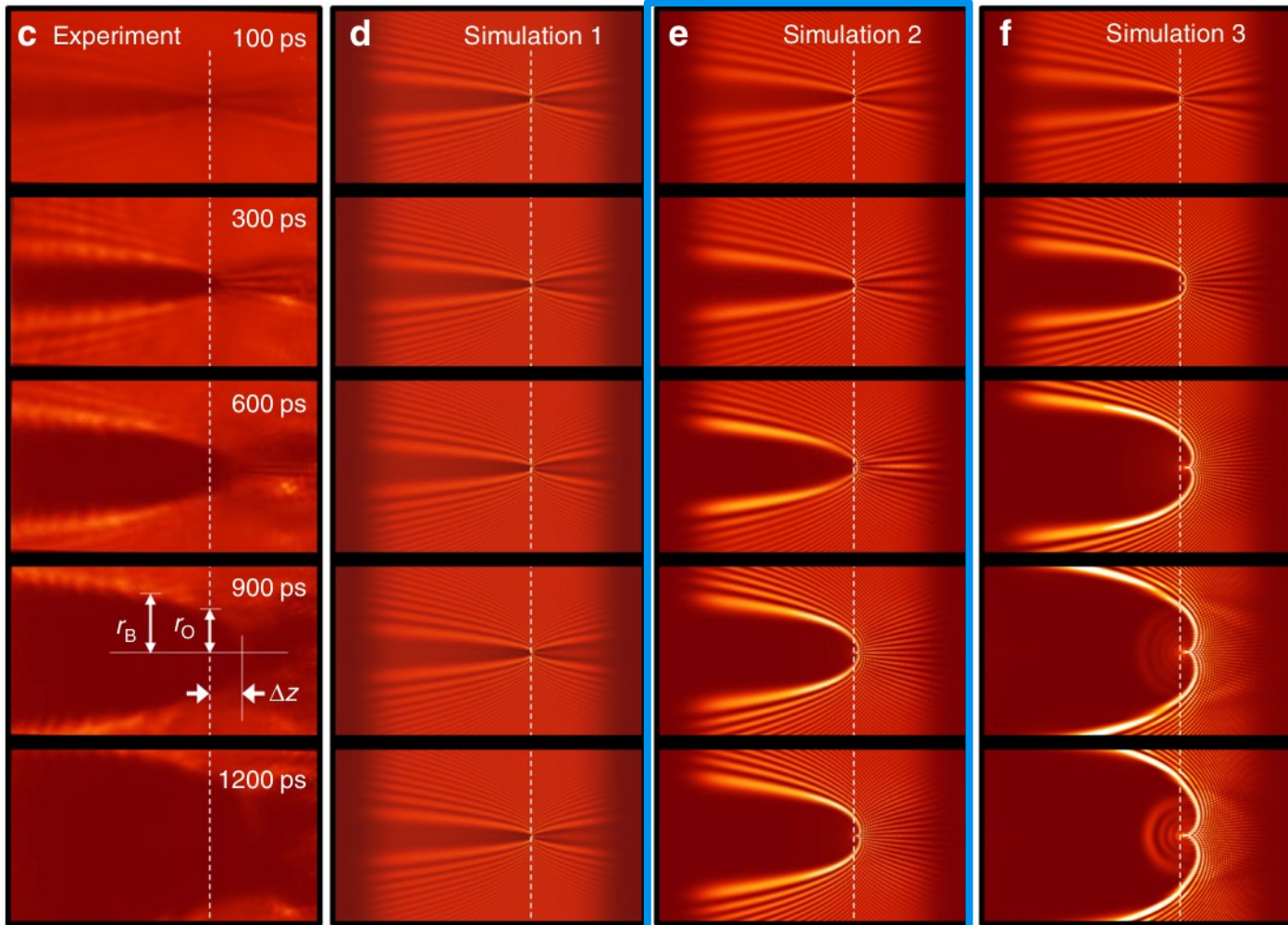
Последовательное усложнение модели



Модель 1 :
разлёт ионов без учёта
элементарных процессов

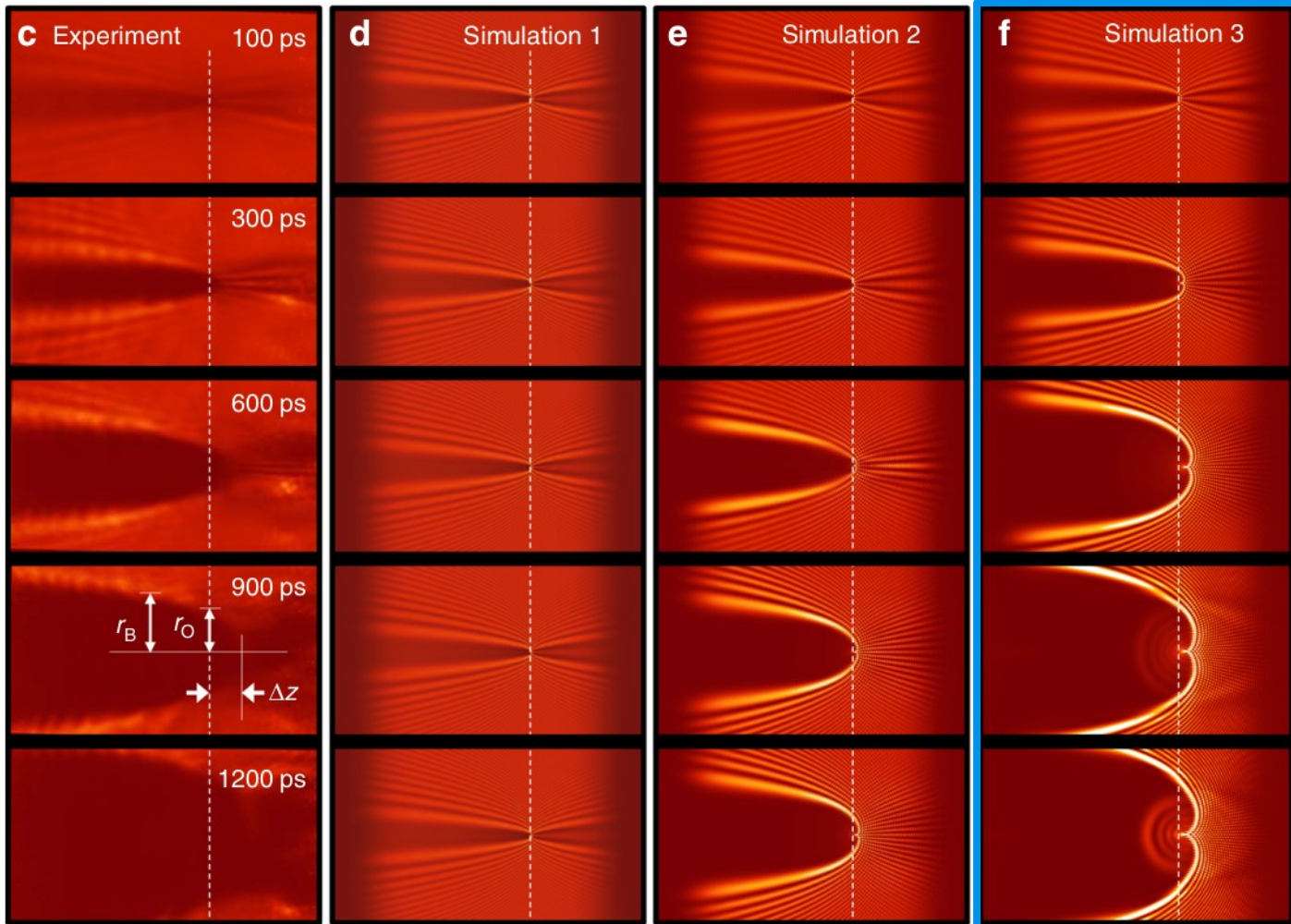


Последовательное усложнение модели



Модель 1 :
разлёт ионов без учёта
элементарных процессов

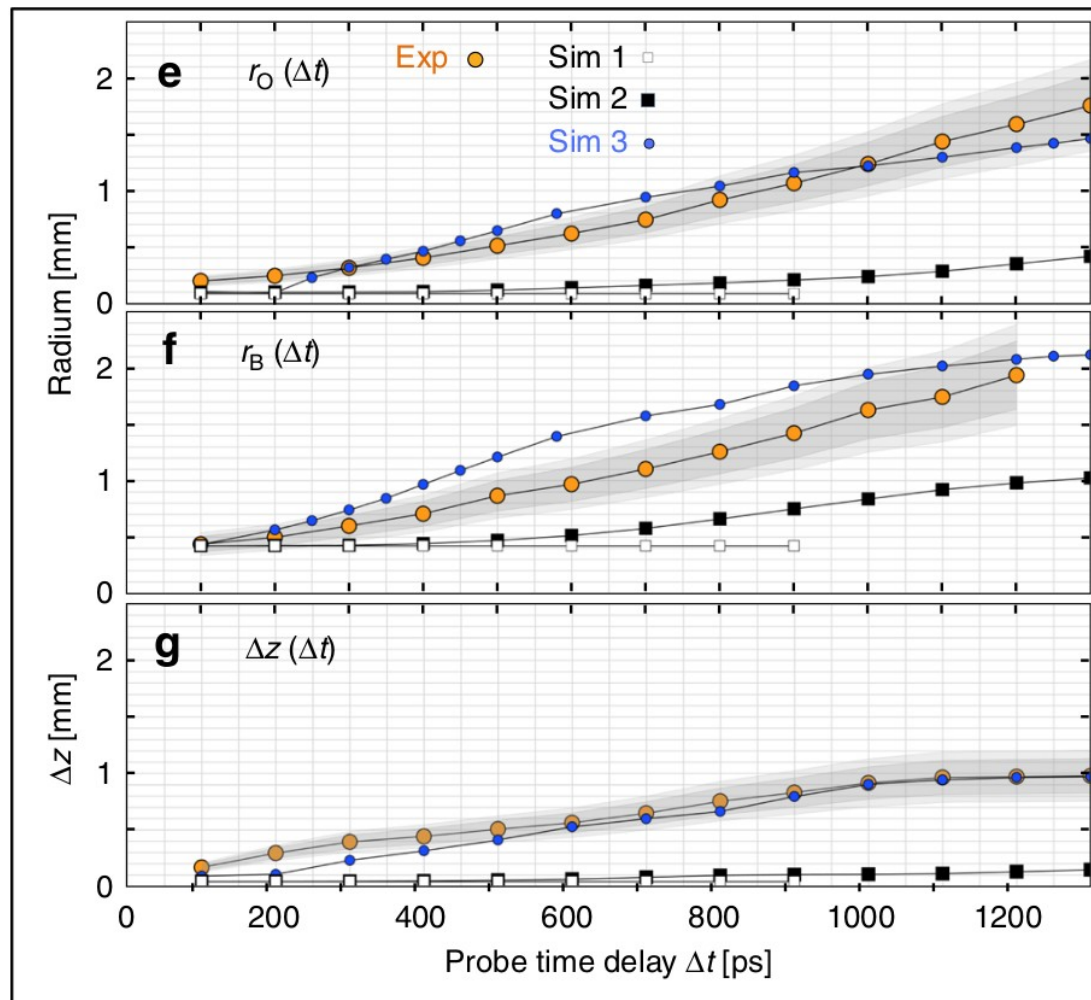
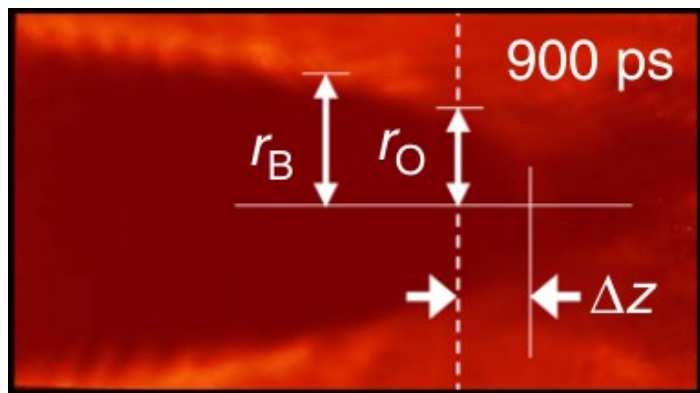
Модель 2:
+ кулоновские столкновения
+ одноступенчатая ионизация
электронным ударом



Модель 1 :
разлёт ионов без учёта
элементарных процессов

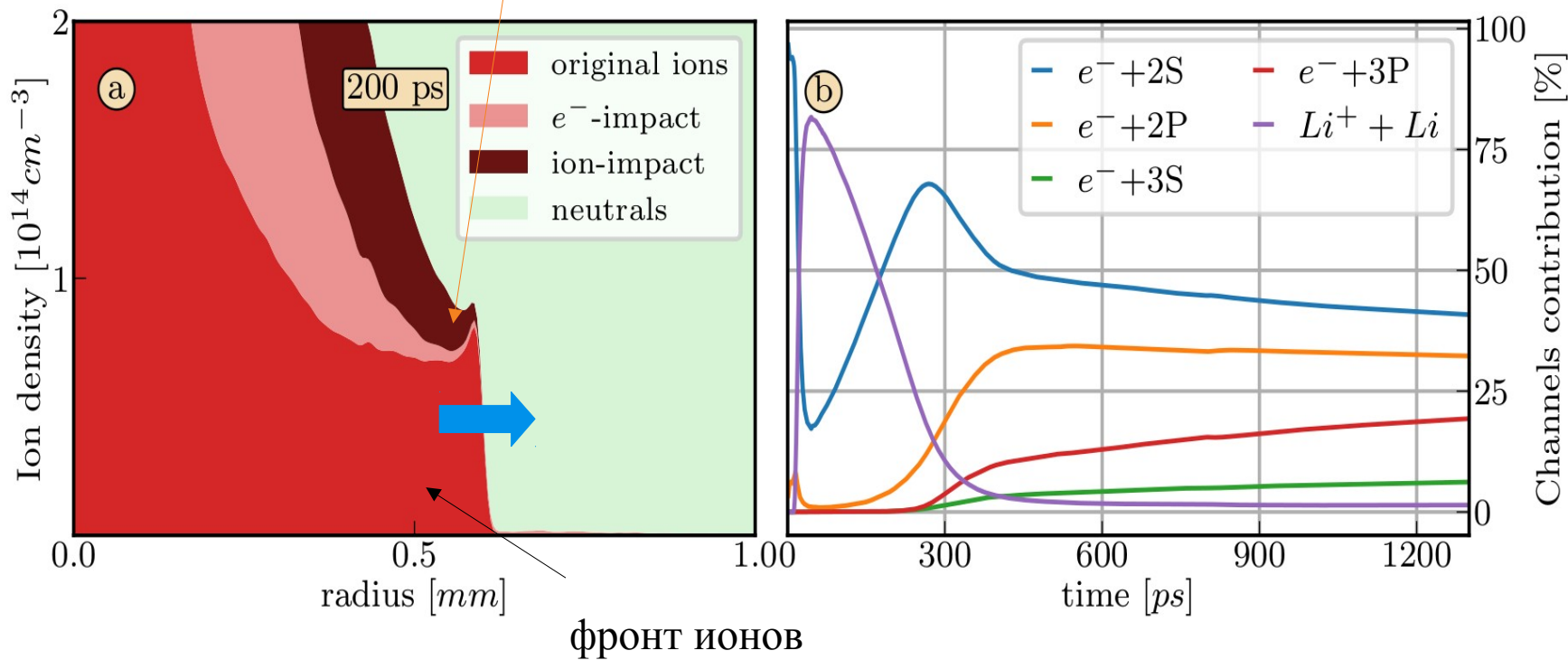
Модель 2:
+ кулоновские столкновения
+ одноступенчатая ионизация
электронным ударом

Модель 3:
+ кулоновские столкновения
+ многоступенчатая ионизация
электронным ударом
+ ионизация ионным ударом





Доминирование ионизации ионным ударом на фронте



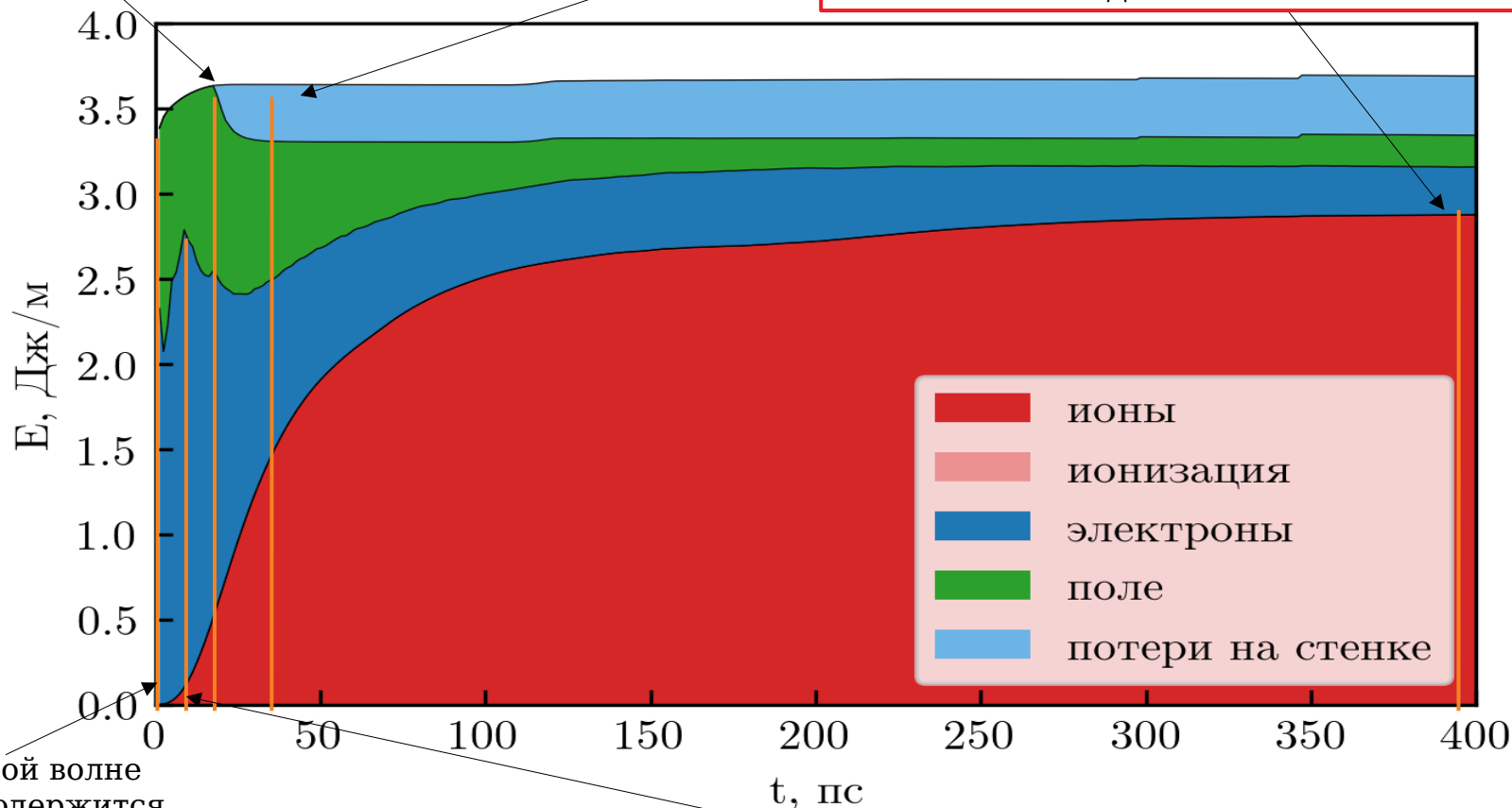


Перераспределение энергии

Самые быстрые электроны достигли стенки

Разделение зарядов

Более 70% энергии волны переходит в кинетическую энергию исходных ионов



В исходной волне энергия содержится в поле и электронах

Опрокидывание волны, большая часть энергии в быстрых электронах



Итоги

Выявлен механизм расширения границы плазмы:

- ⊙ опрокидывание волны инициирует разлёт ионов
- ⊙ затравка создаётся механизмом ионно-ударной ионизации
- ⊙ далее доминирует электронно-ударная ионизация.

Получено количественное согласие с экспериментом

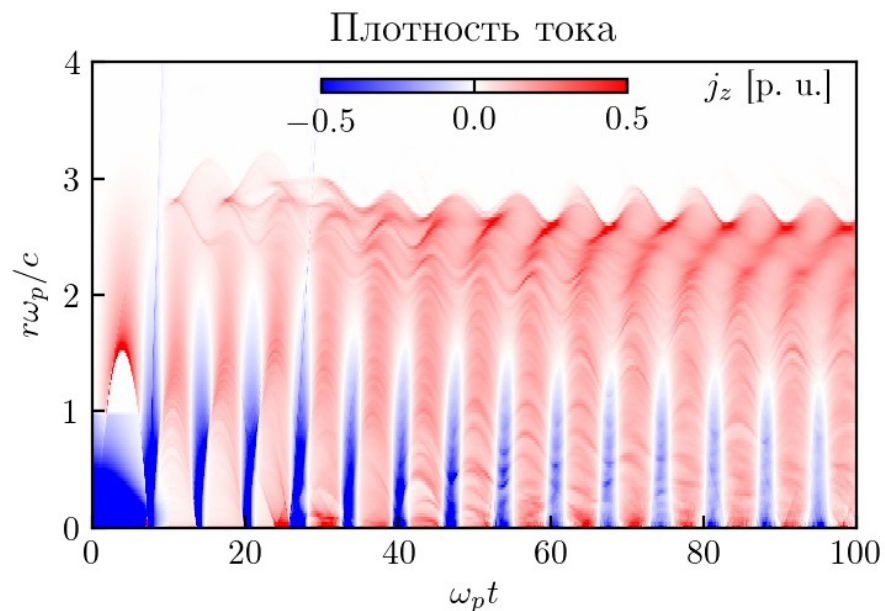
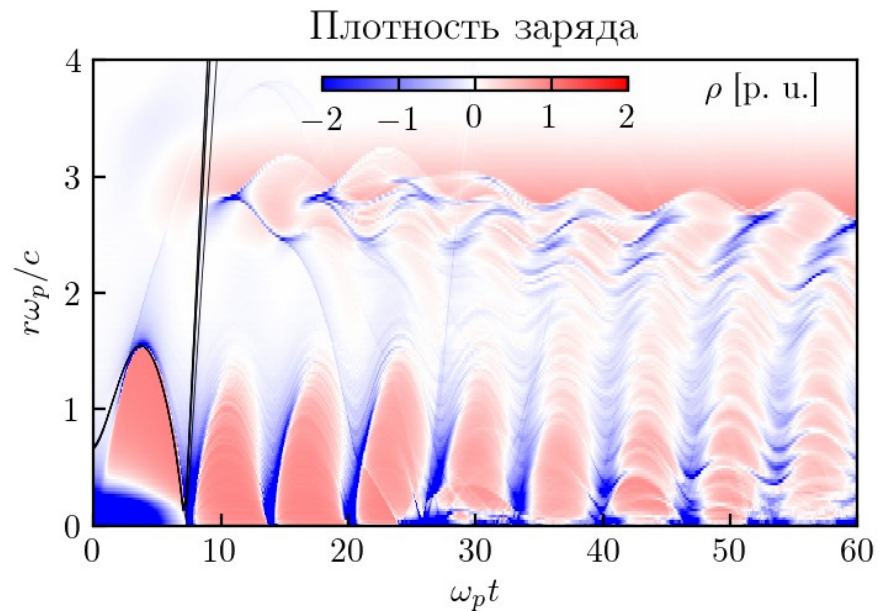
Установлено, что более 70% энергии исходной волны переходит в кинетическую энергию радиального движения ионов.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Доп. материалы : средний ток





Доп. материалы : волна сжатия

