

Моделирование ионизационной дефокусировки в лазерной плазме на поверхности твердотельной мишени.

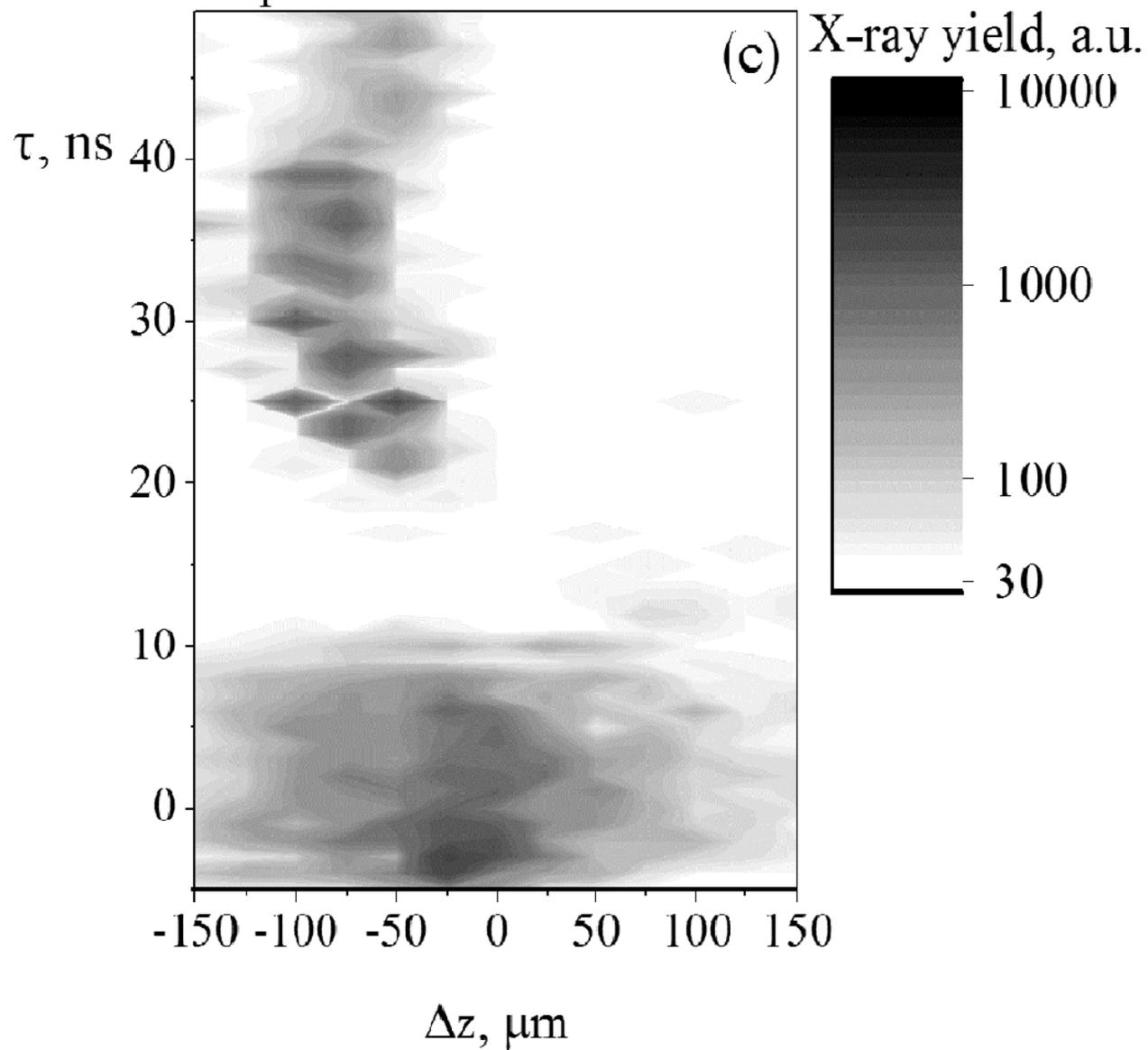
Выполнила:

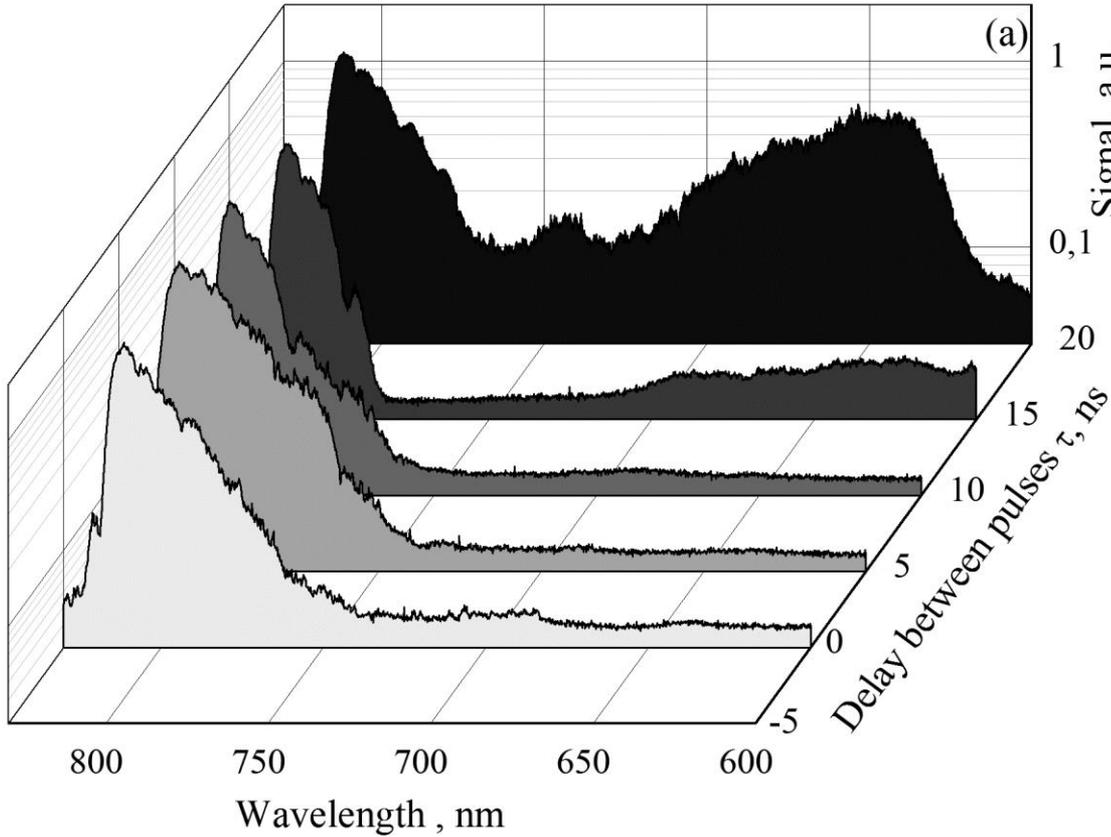
студентка второго курса, А. М. Сенькевич

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор А.Б. Савельев-Трофимов

Prepulse at 1064 nm





$$A = A_0 e^{-i(\omega t - kx)}$$

$$k = \frac{\omega n}{c}$$

$$n = \sqrt{1 - \frac{N_e}{N_{cr}}}$$

$$\varphi = ct - \frac{\omega x}{c} \left(1 - \frac{N_e(t)}{2N_{cr}} \right) = \omega t + \frac{\omega N_e(t)}{c2N_{cr}} x - kx;$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 t + \frac{\omega_0 x}{c2N_{cr}} \frac{dN_e(t)}{dt} = \omega$$

Цели и задачи

1. Создание программного пакета для расчета распространения лазерного излучения релятивистской интенсивности в плазме с учетом ионизационных эффектов, поддерживающего параллелизацию для вычислений на многопроцессорных кластерах.
2. Проведение расчетов с начальными параметрами, соответствующими проводимым в лаборатории экспериментам для объяснения наблюдаемых эффектов.
3. Поиск параметров плазмы, при которых до критической электронной плотности доносится наибольшая интенсивность излучения.

Модель

$$E_{tt} = \frac{c^2}{n^2} (E_{xx} + E_{yy} + E_{zz})$$

$$W_i(E) = 4\omega_a r_{Hi}^{2,5} \frac{E_a}{|E(t)|} \exp(-2r_{Hi}^{1,5}) \frac{E_a}{3|E(t)|}$$

$$\frac{dN_i}{dt} = W_i N_{i-1} - W_{i+1} N_i$$

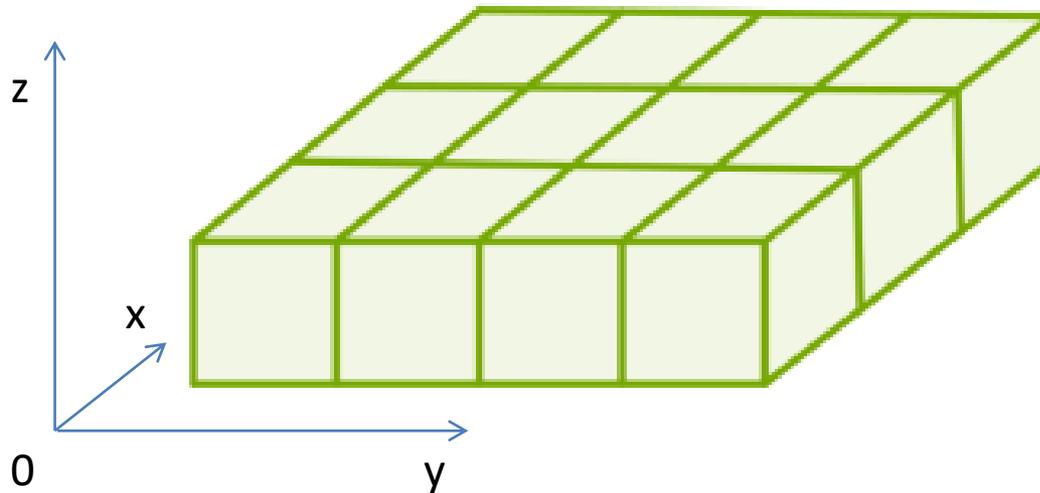
$$N_e = \sum_{i=1}^{i_{max}} i N_i$$

$$n = \sqrt{1 - \frac{N_e}{N_{cr}}}$$

Численное моделирование

$$F_{tt} = \frac{F(t - \Delta t) - 2F(t) + F(t + \Delta t)}{\Delta t^2} \quad c\Delta t < \Delta x$$

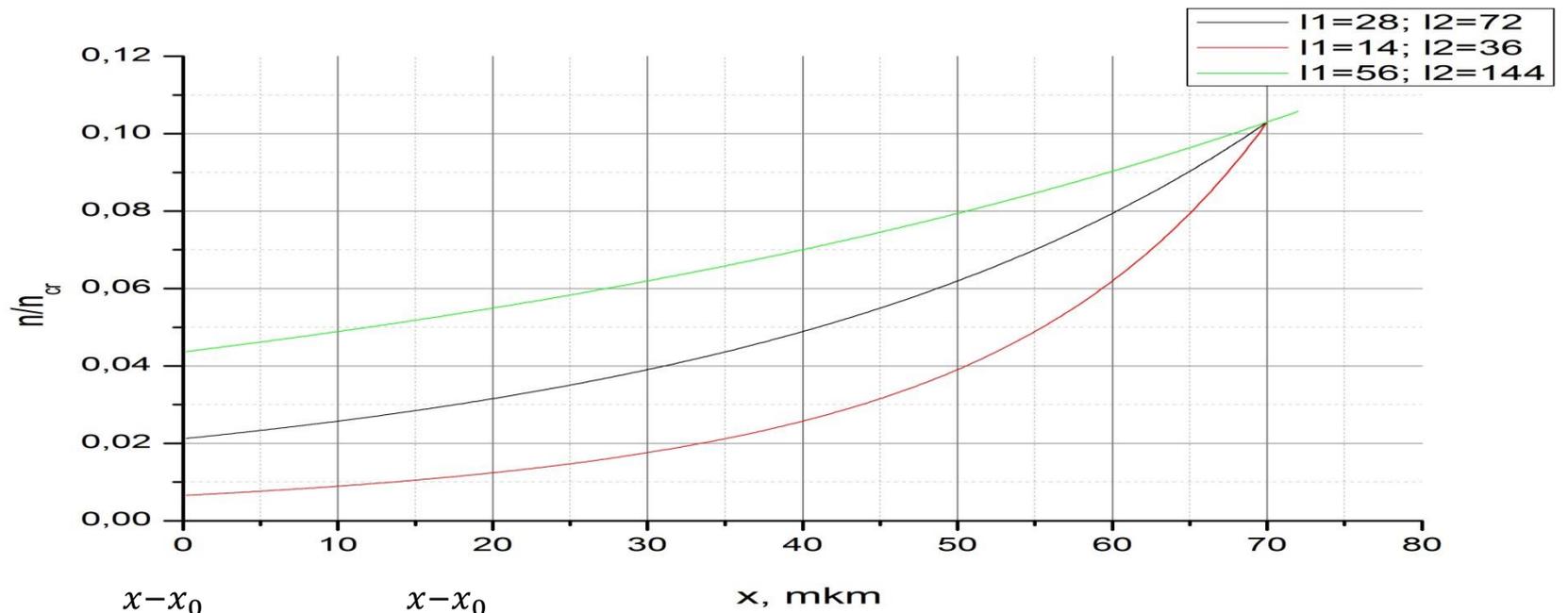
$E(x, y, z) = 0$; $x, y, z \in \delta$ – граница области



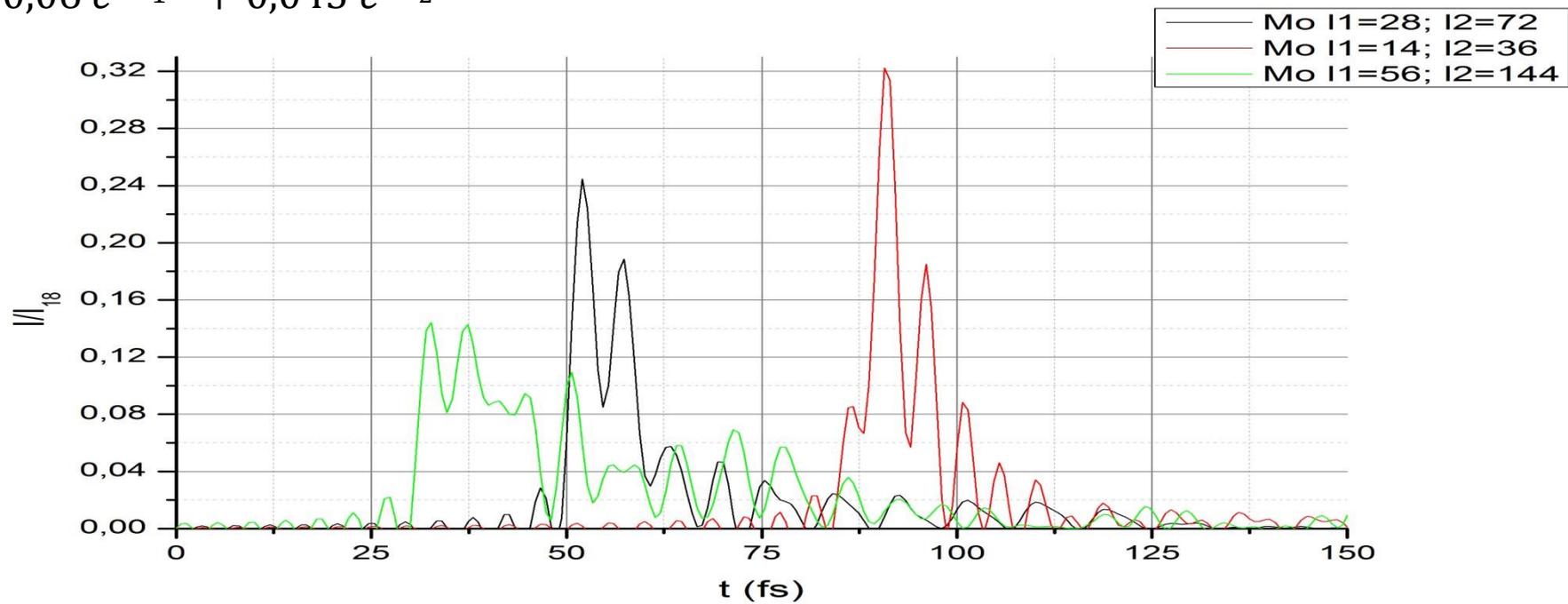
Молибденовая мишень

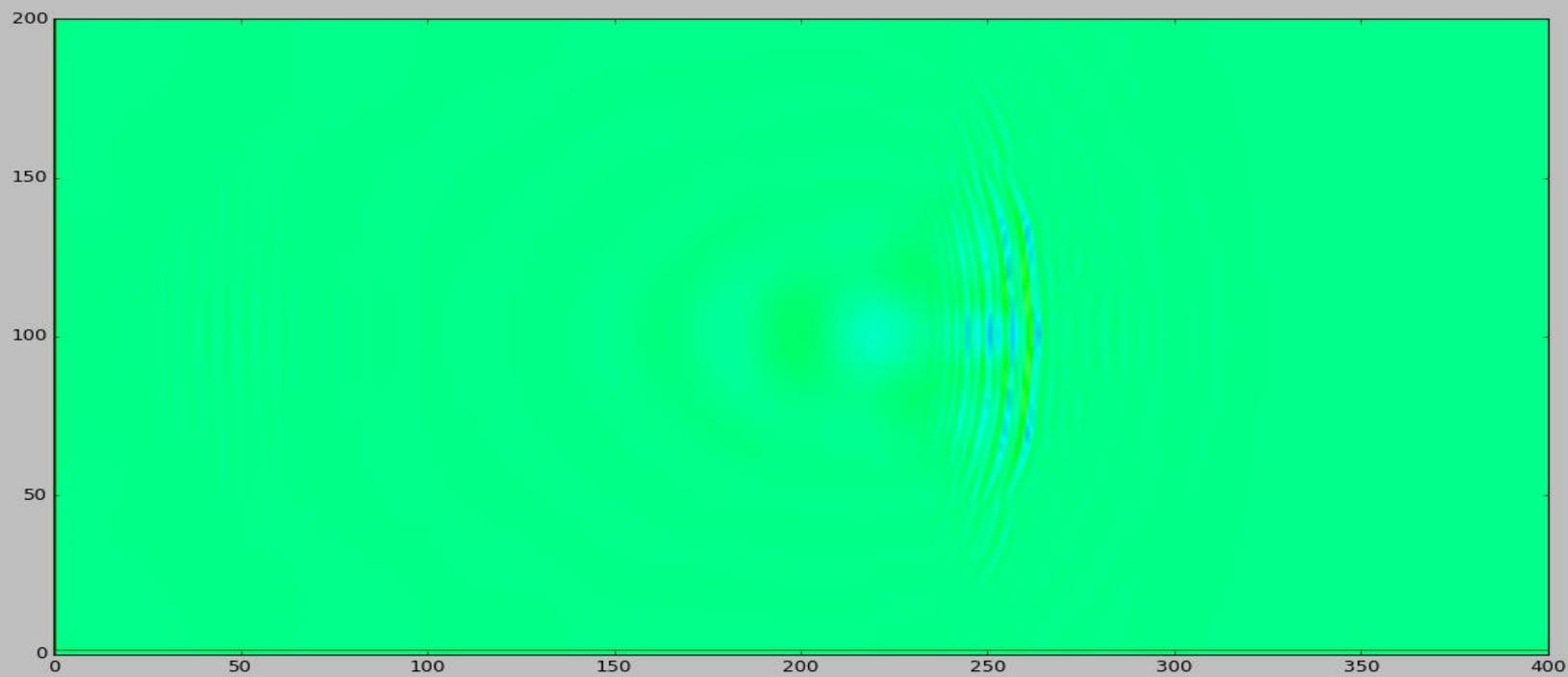
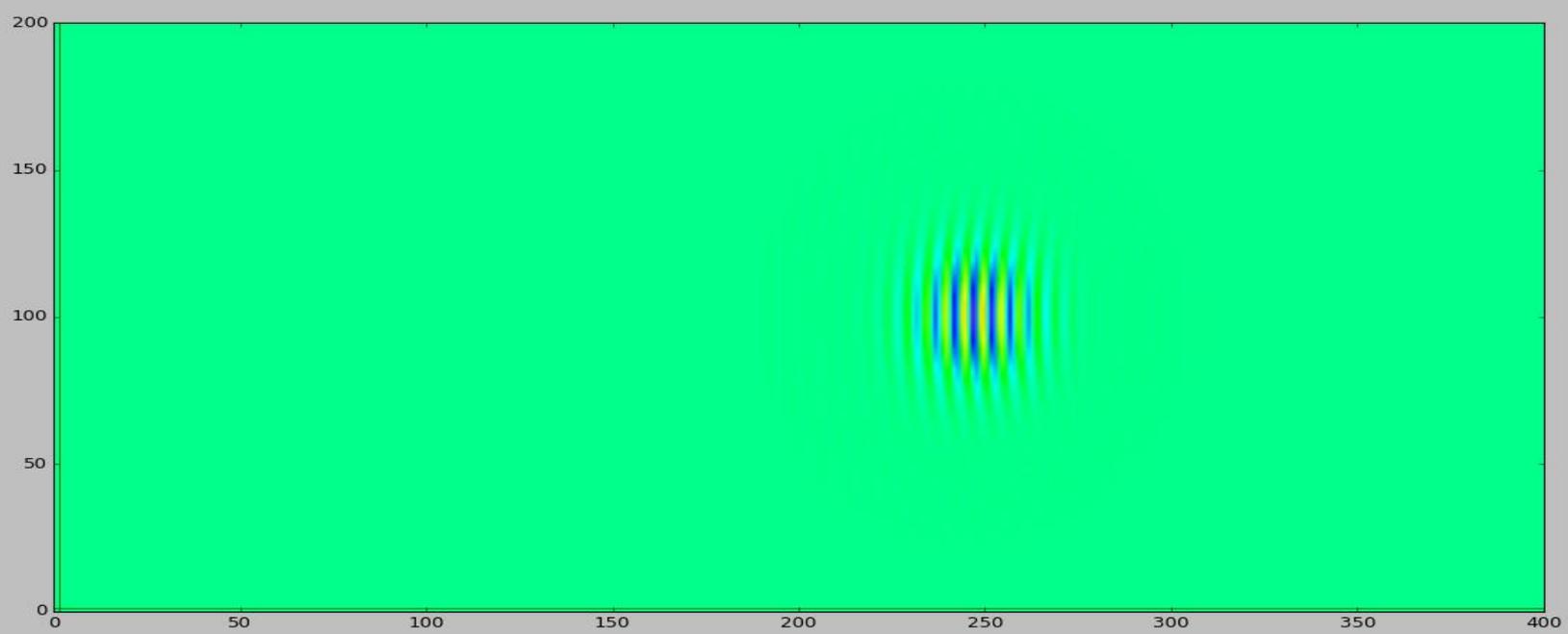
$$N = 0,06 e^{\frac{x-x_0}{l_1}} + 0,043 e^{\frac{x-x_0}{l_2}}$$

l_1 , МКМ	l_2 , МКМ	I_{max} , 10^{18} Вт/см ²	i_{max}
56	144	0,144	9 – 10
28	72	0,22	9 – 10
14	36	0,25	10 – 11

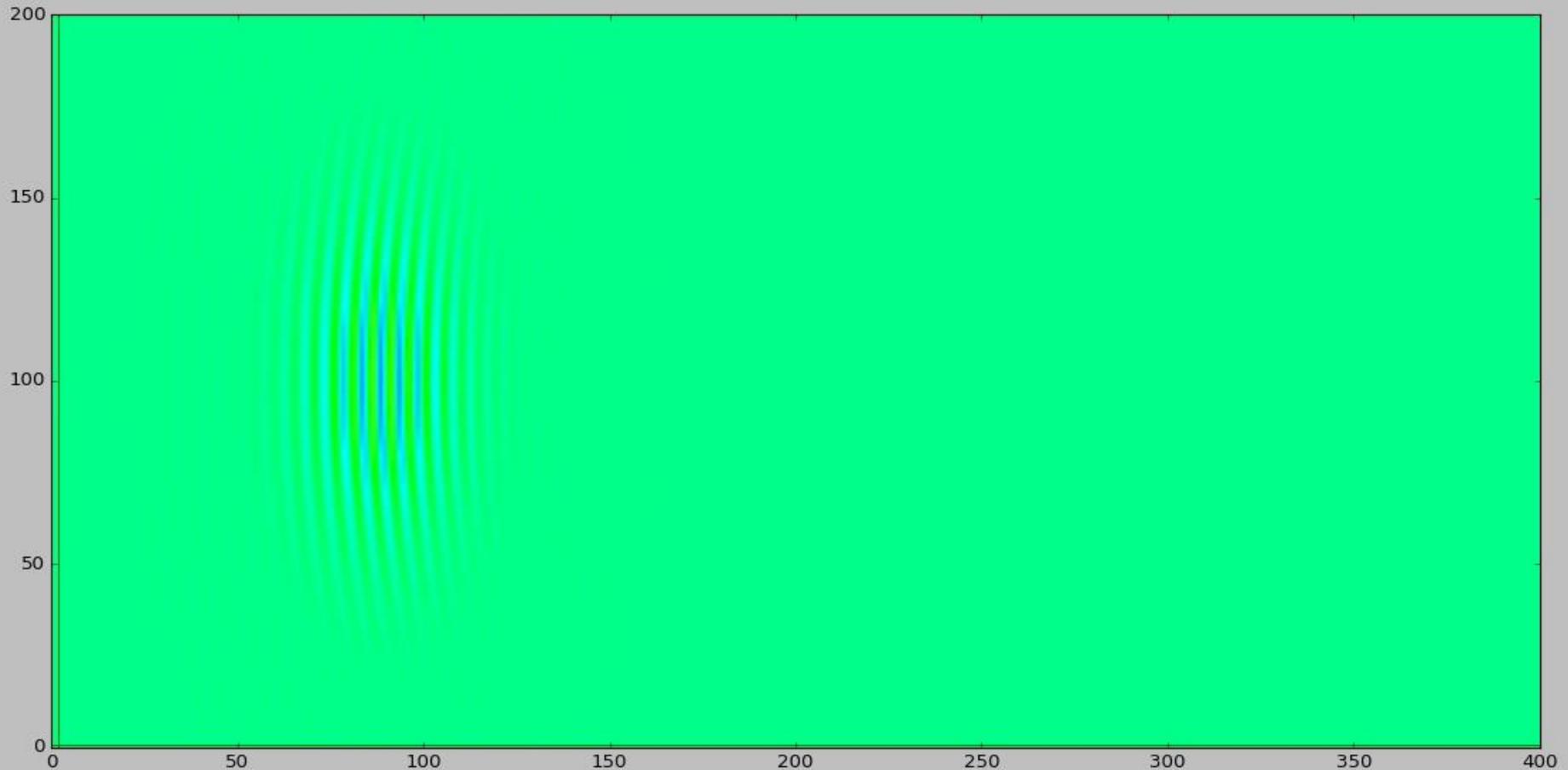


$$N = 0,06 e^{\frac{x-x_0}{l_1}} + 0,043 e^{\frac{x-x_0}{l_2}}$$

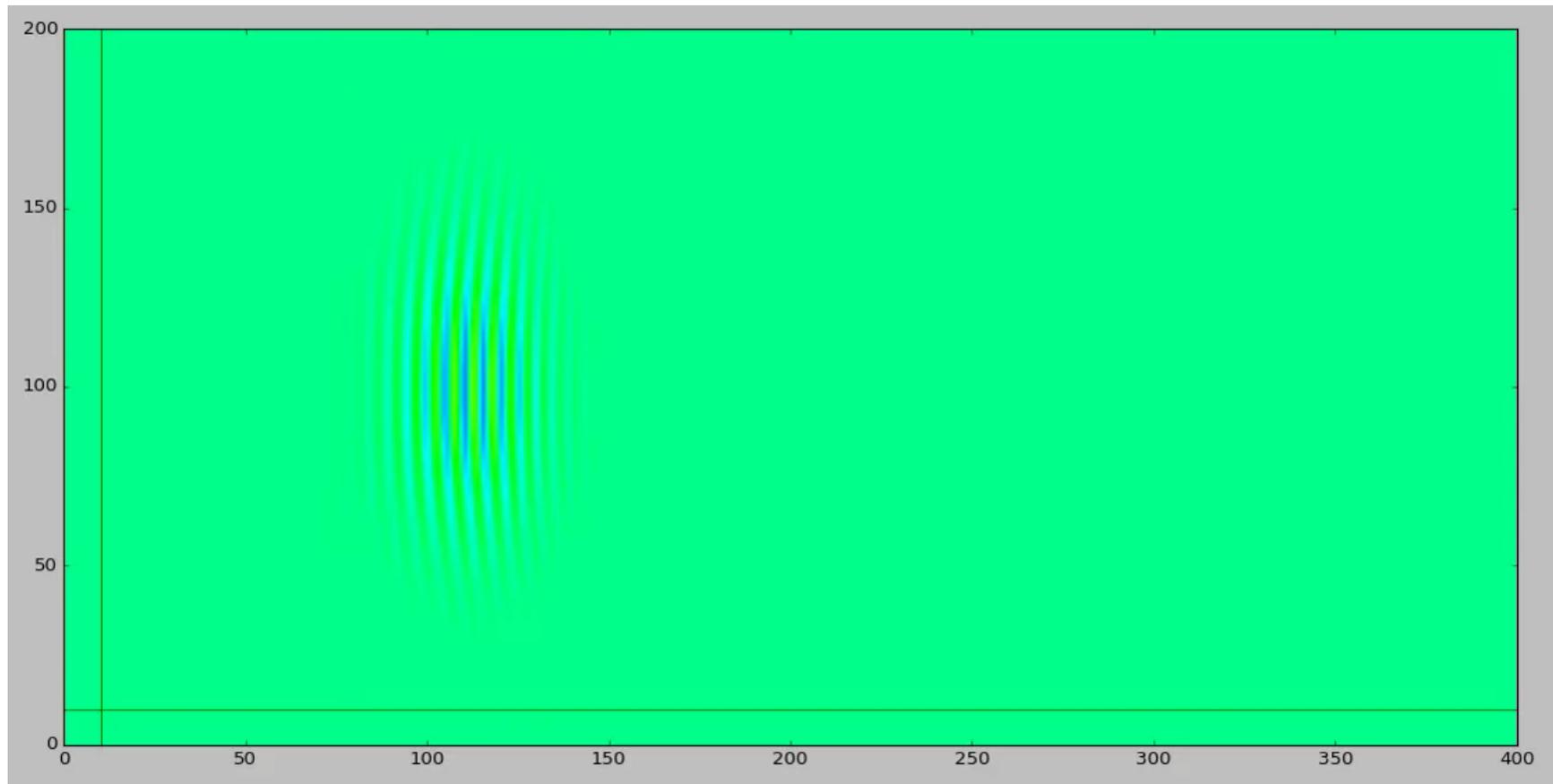


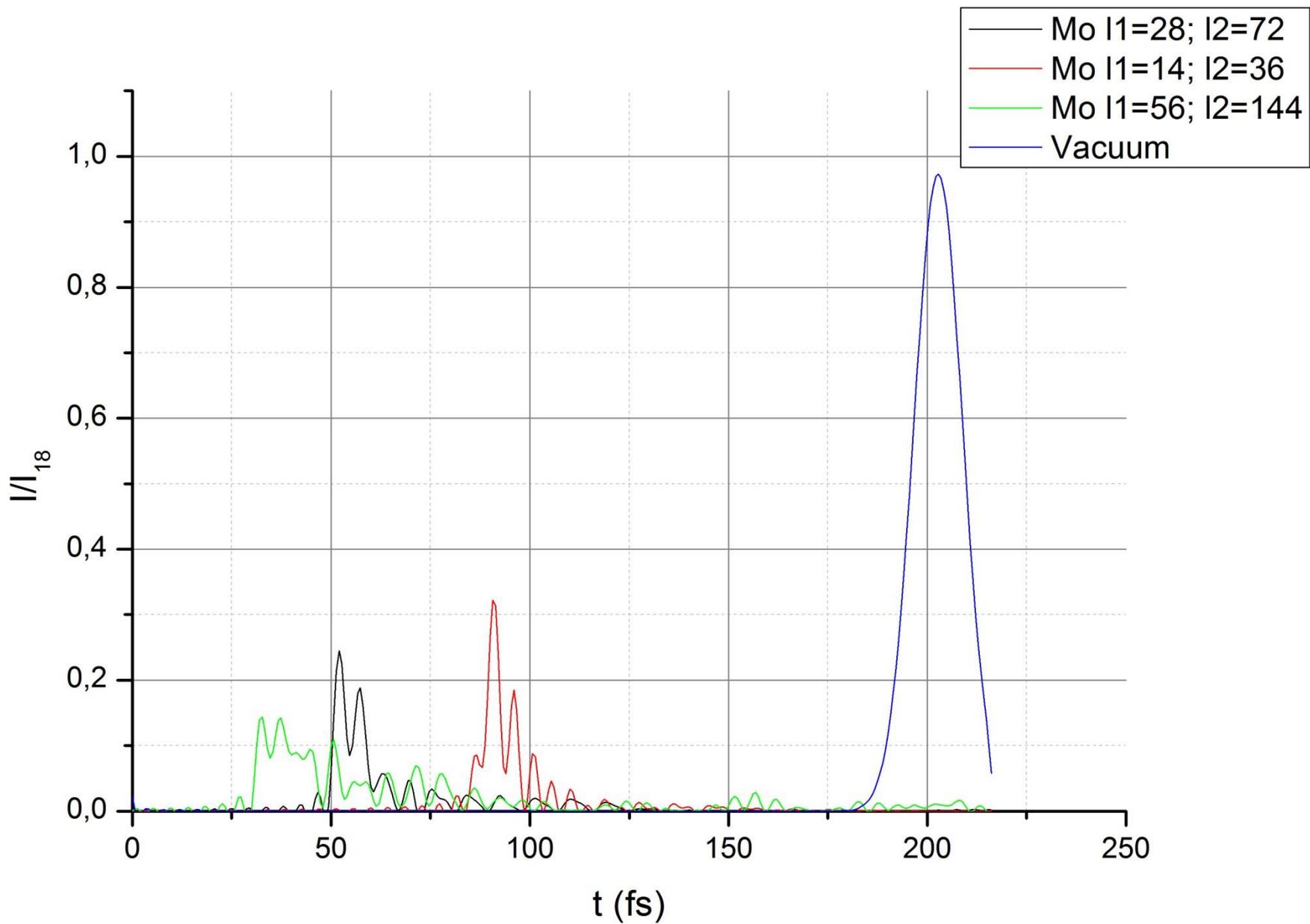


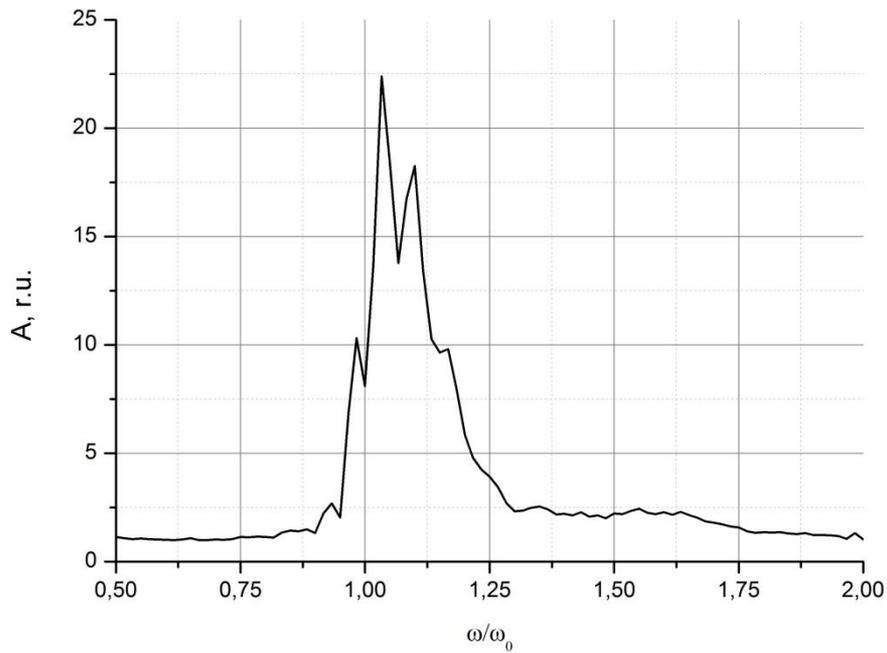
Распространение импульса в вакууме



Распространение пучка в плазме с $n_1 = 14$ и $n_2 = 36$



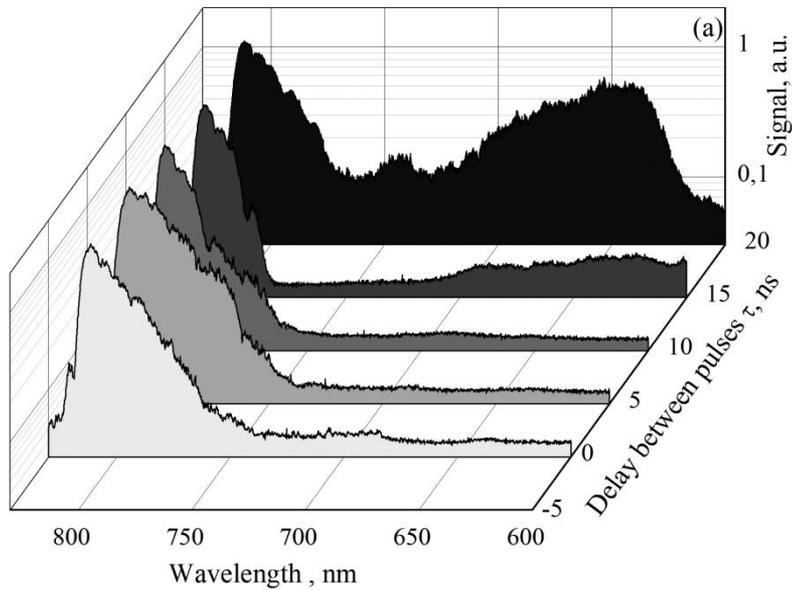


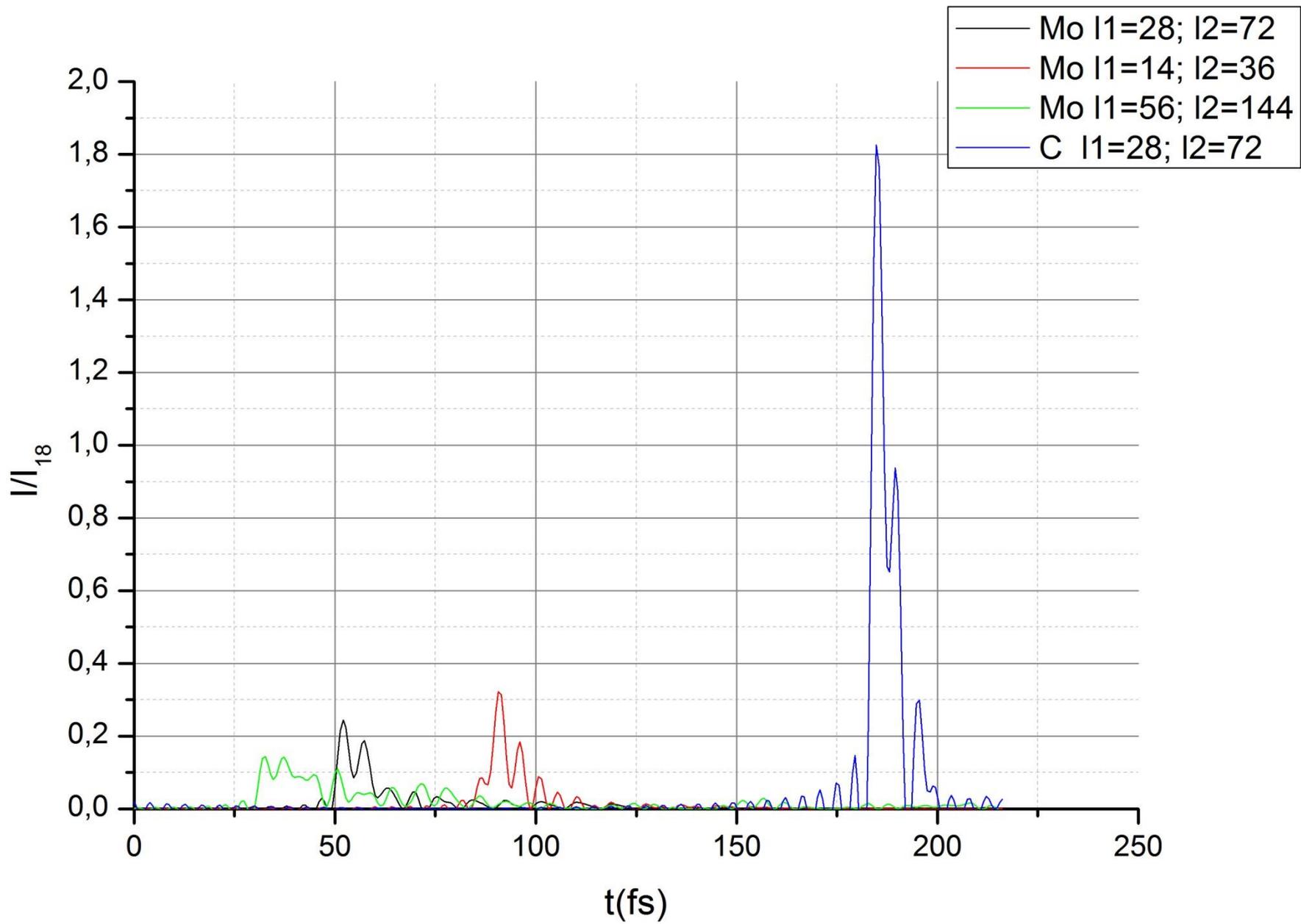


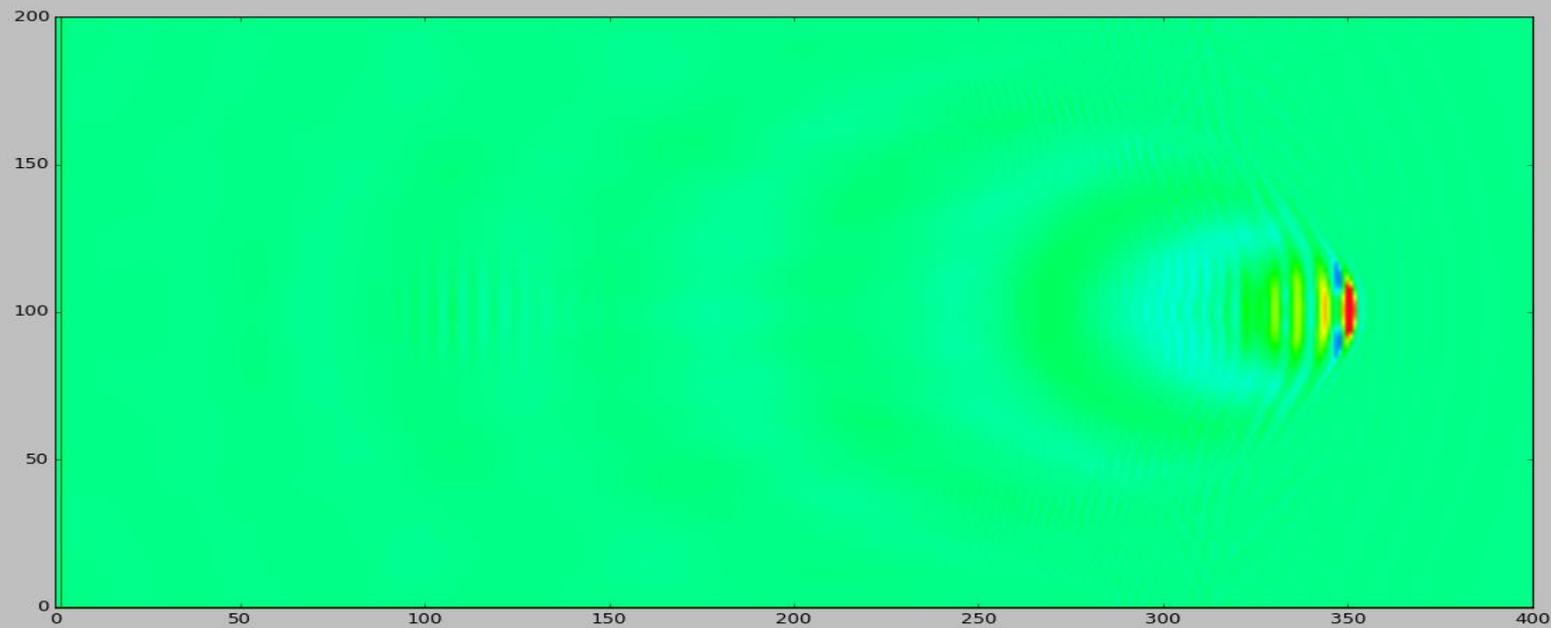
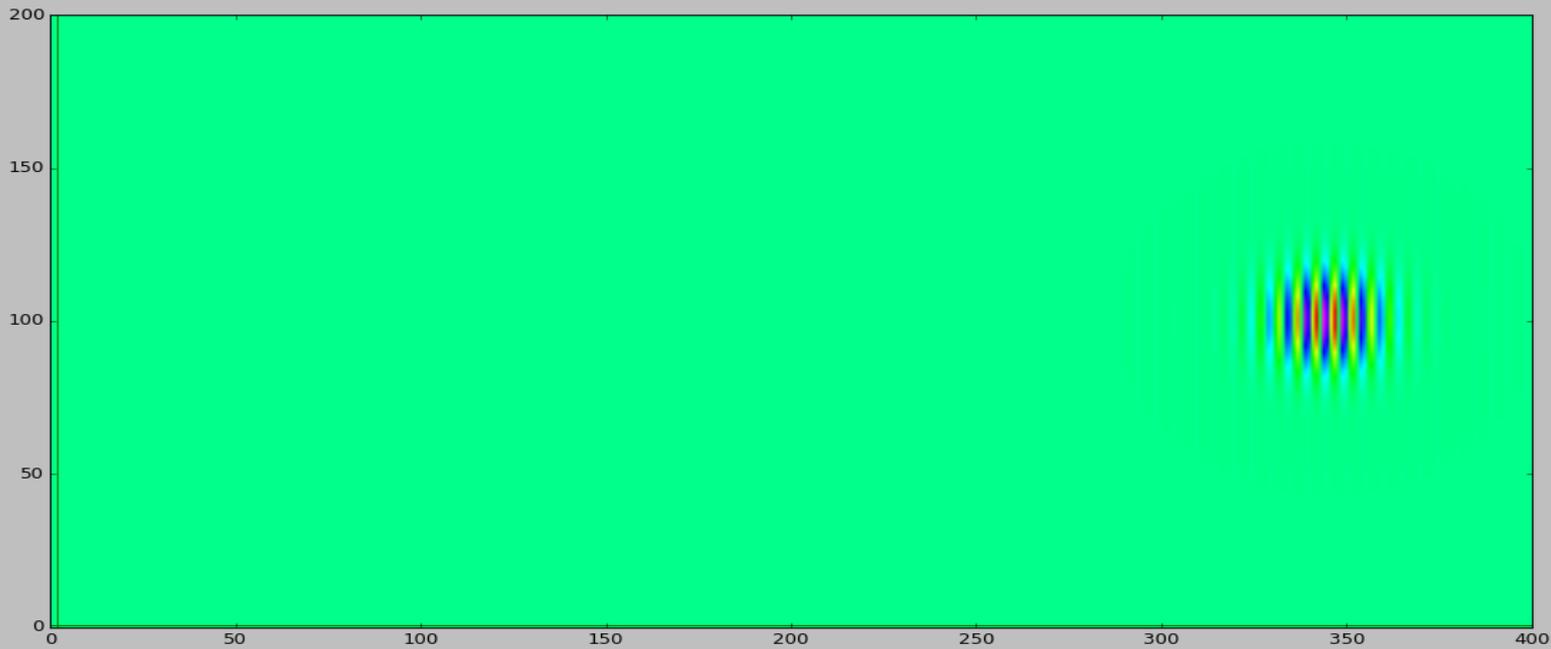
$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \approx 0.8125.$$

$$\lambda = 800 \text{ nm}$$

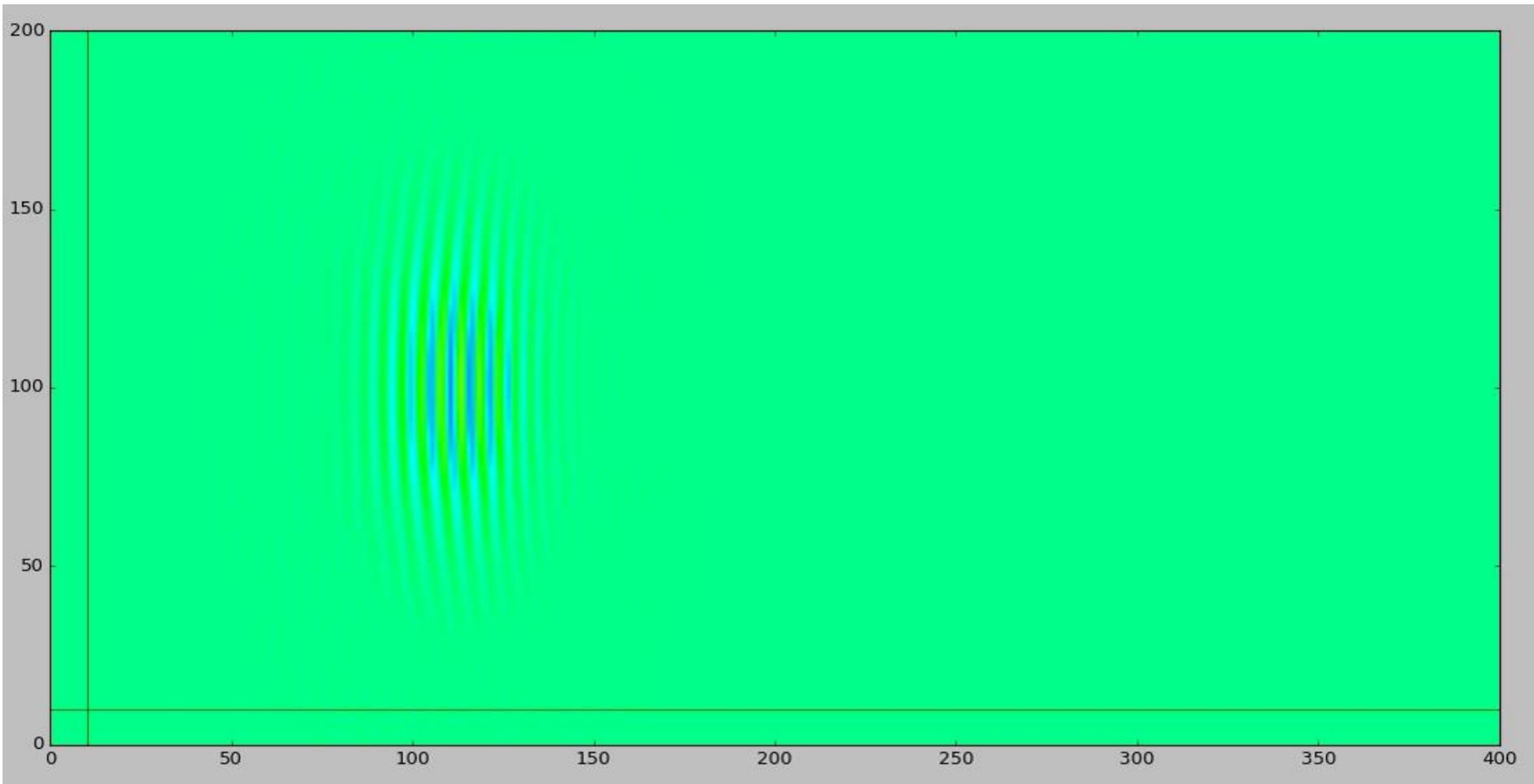
$$\Delta\lambda = 150 \text{ nm}$$

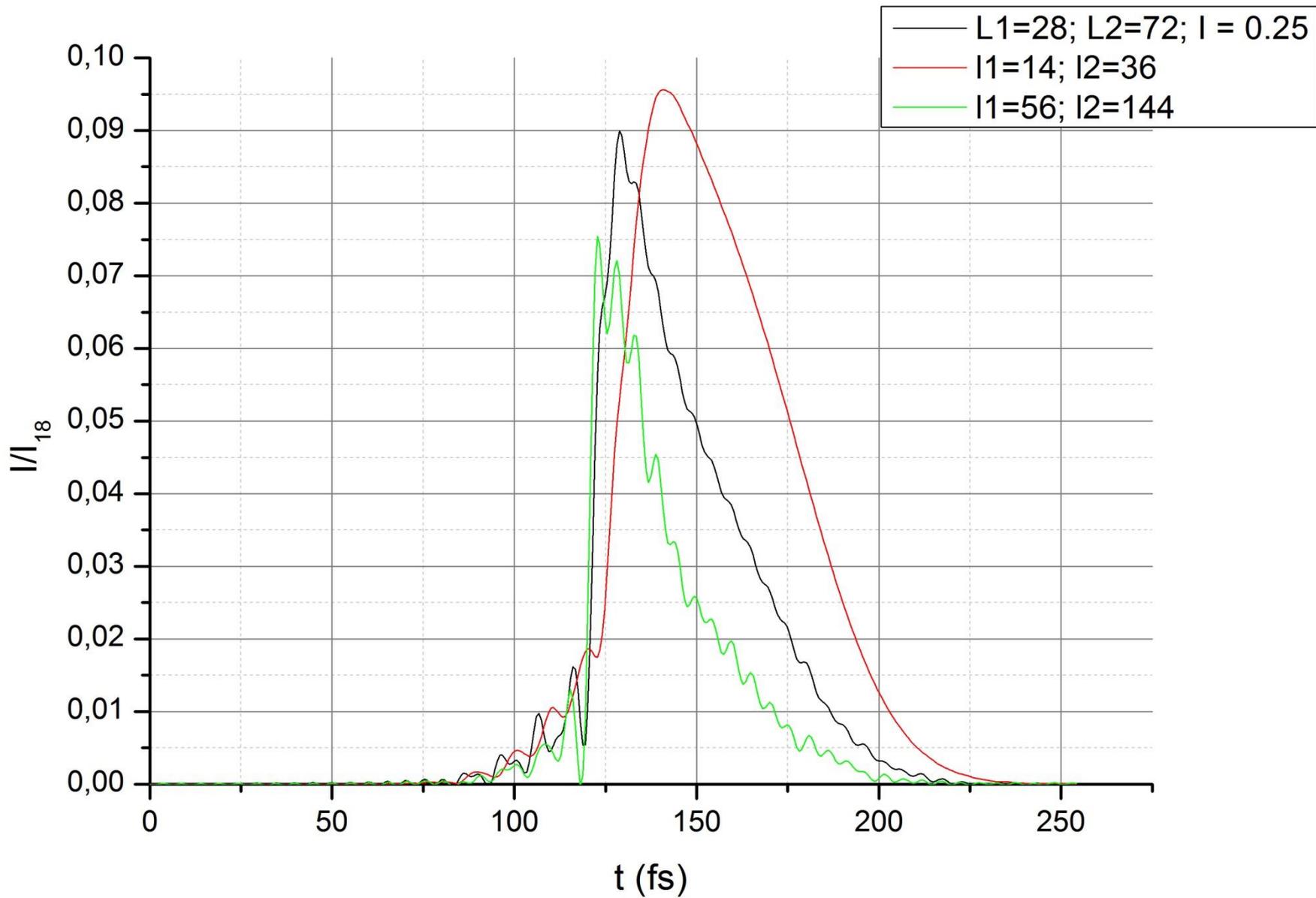


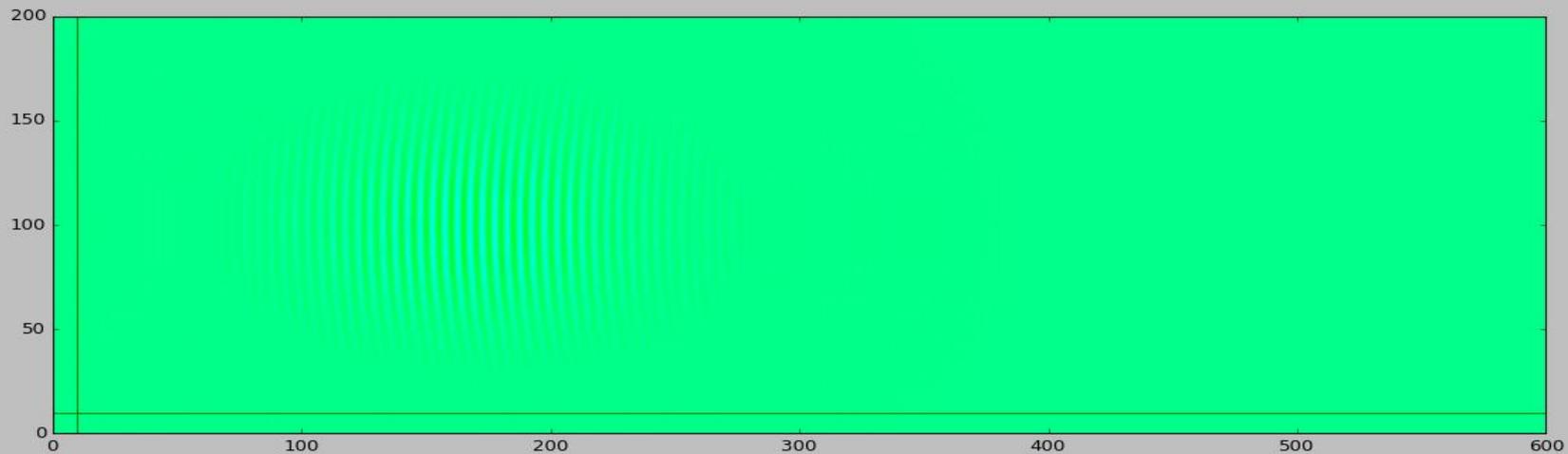
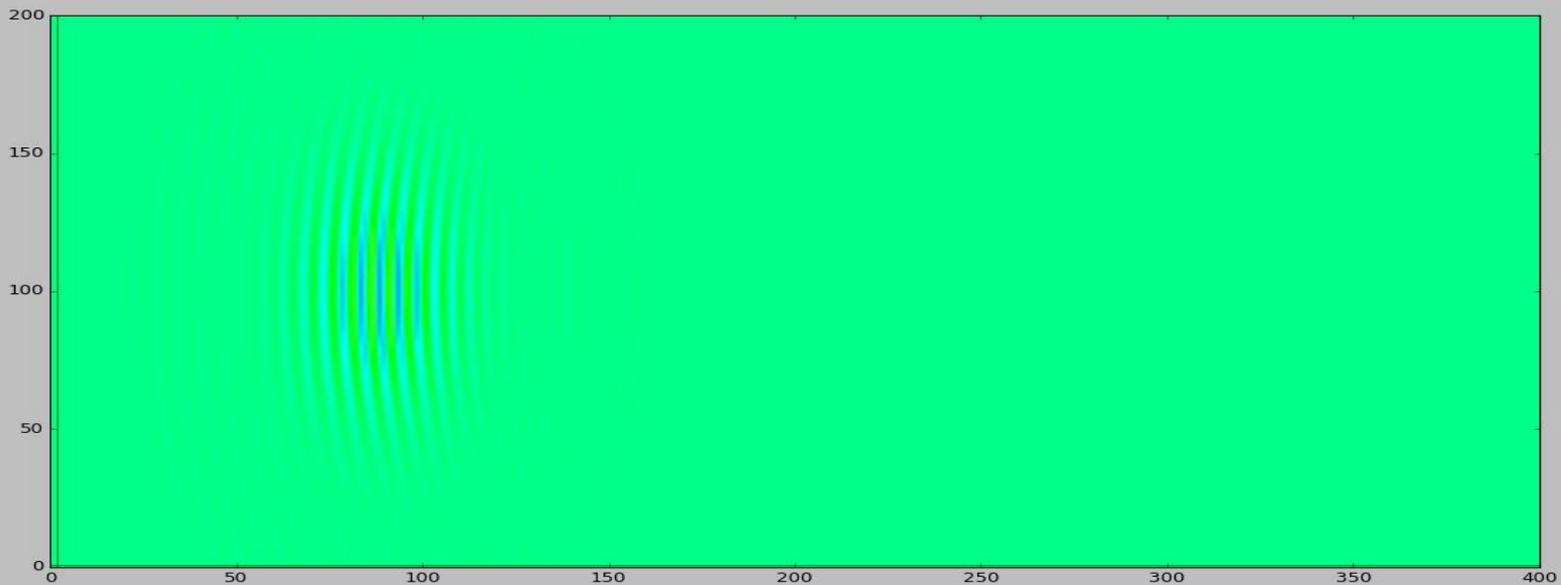




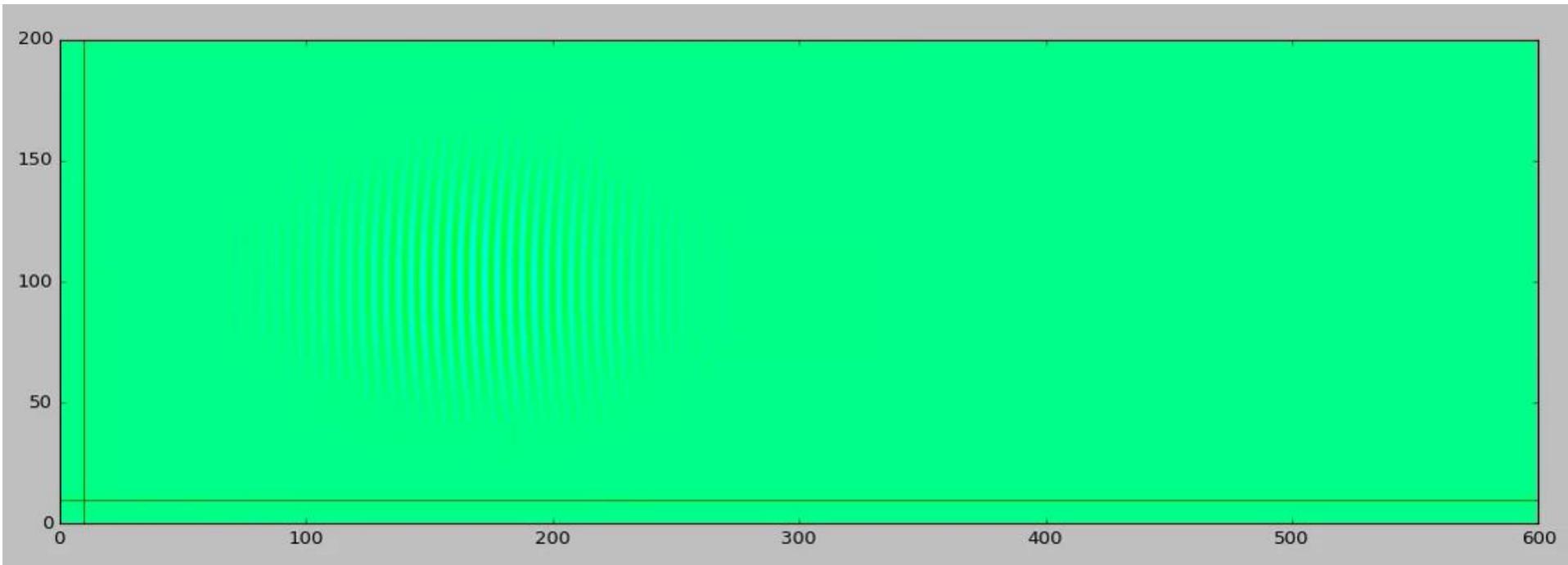
Распространение пучка в плазме углерода

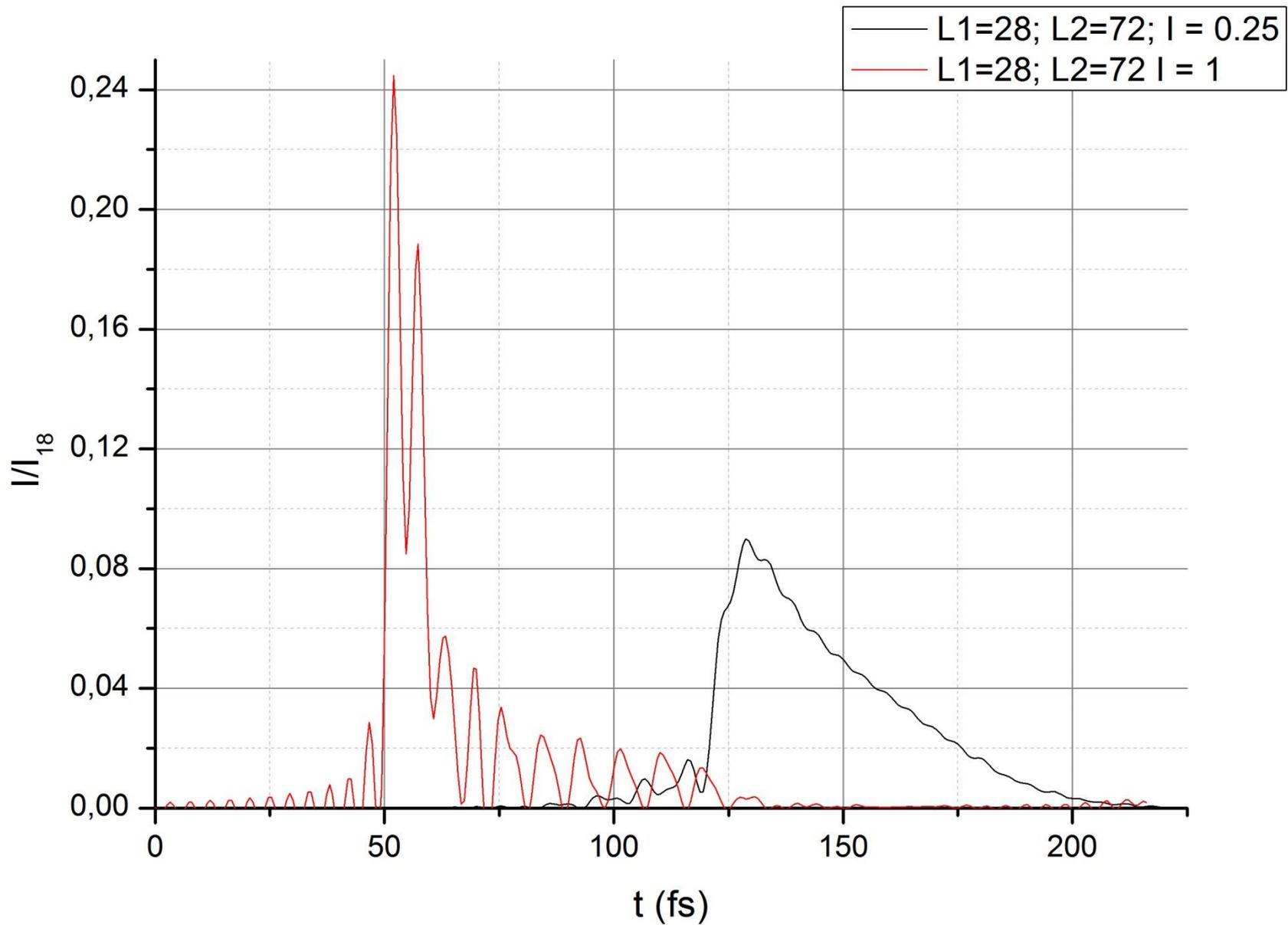






Распространение длинного импульса в плазме с $l_1 = 28$ и $l_2 = 72$

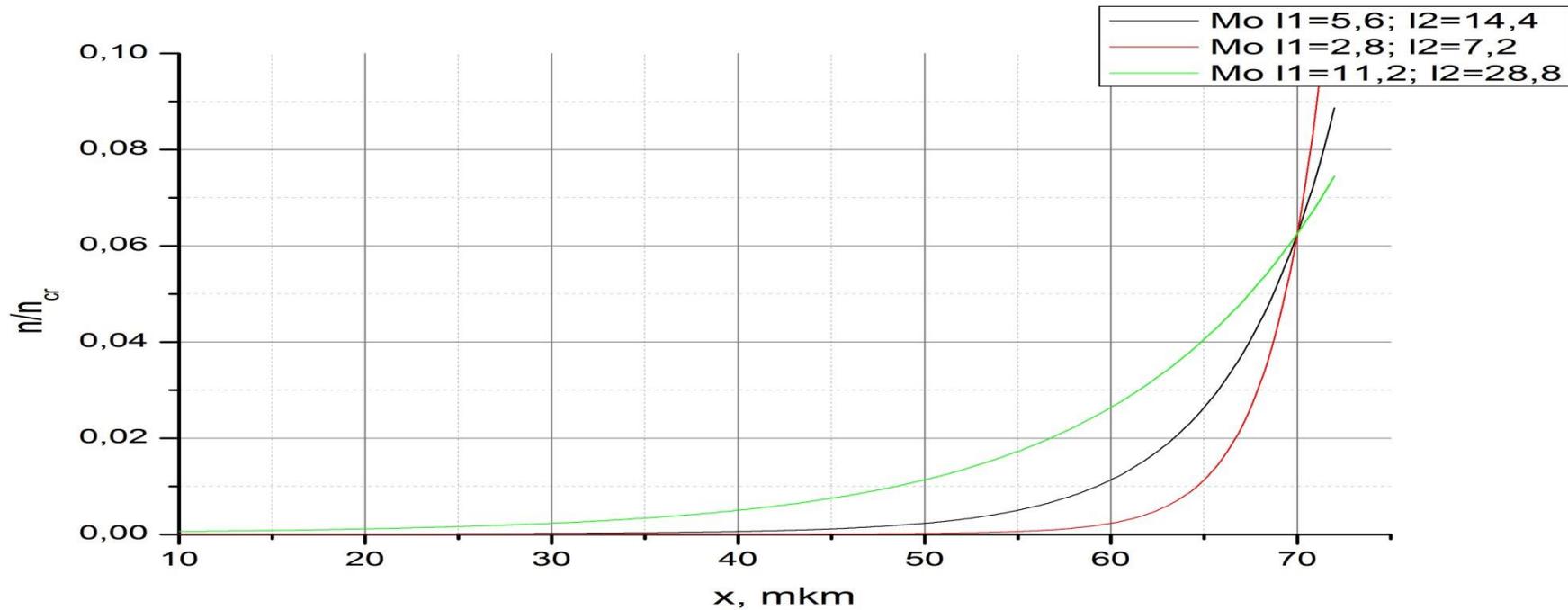




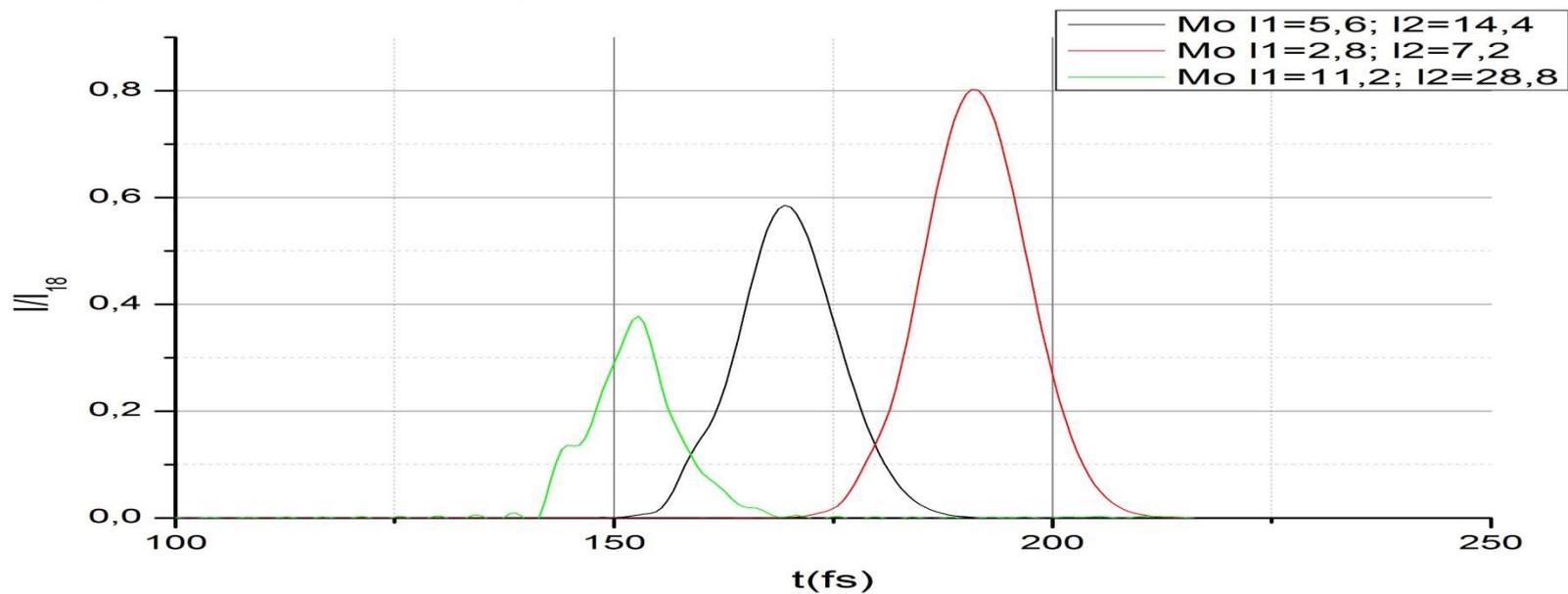
Короткие градиенты

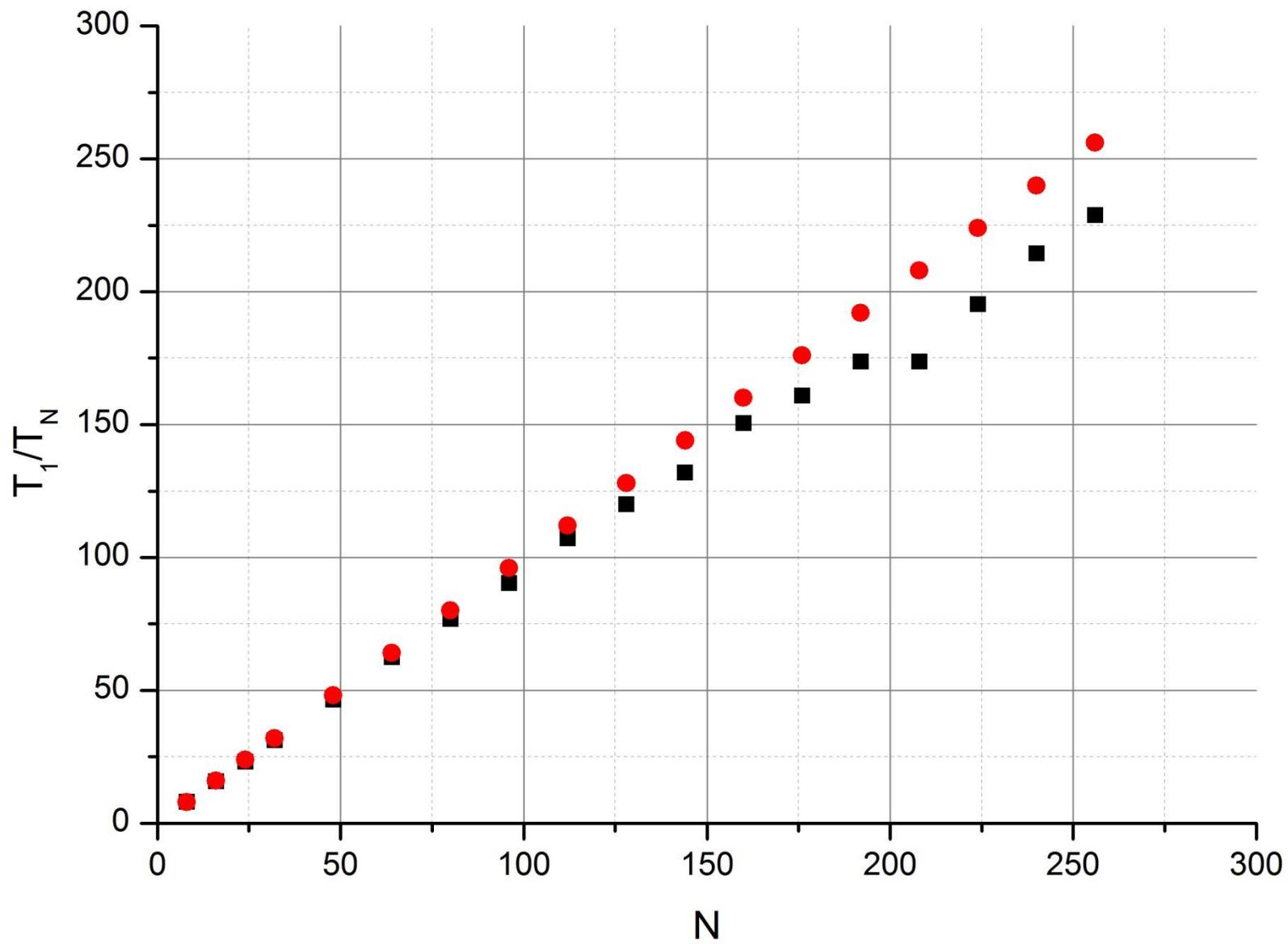
$$N = 0,06 \left(e^{\frac{x-x_0}{l_1}} + 0,043 e^{\frac{x-x_0}{l_2}} \right)$$

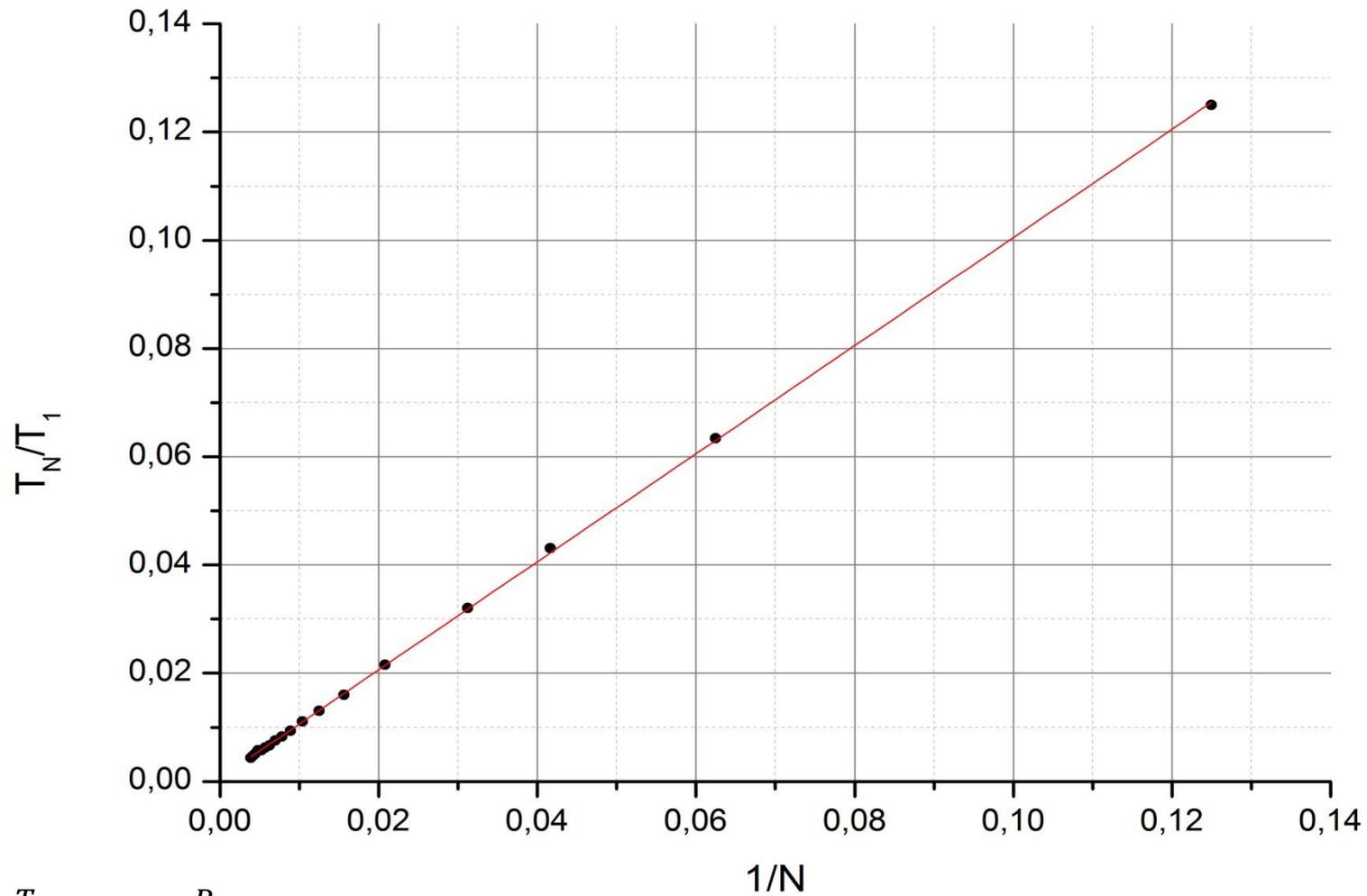
$l_1, \text{ мкм}$	$l_2, \text{ мкм}$	$I_{max},$ 10^{18} Вт/см^2	i_{max}
11.2	28.8	0,37	11 – 12
5.6	14.4	0,59	12 – 13
2.8	7.2	0,8	13 – 14



$$N = 0,06 \left(e^{\frac{x-x_0}{l_1}} + 0,043 e^{\frac{x-x_0}{l_2}} \right)$$







$$\frac{T_N}{T_1} = S + \frac{P}{N}$$

$S \approx 0.065\%$ – последовательная часть программы !!!

$P \approx 99.85\%$ – параллельная часть программы

Заключение

- В ходе работы написана программа для моделирования ионизационных процессов при распространении лазерного излучения релятивистской интенсивности в плазме. При моделировании было показано:
- Процесс ионизации плазмы и следующее за ним расхождение пучка приводит к понижению интенсивности на порядок (с 10^{18} Вт/см² до $1-2 \cdot 10^{17}$ Вт/см²). Данный факт подтверждает теорию возникновения рассматриваемого провала в выходе рентгеновского излучения при задержках ~ 15 нс.
- Использование в качестве материалов для мишеней элементов с малым зарядом ядра может значительно понизить эффект дефокусировки.
- Увеличение длительности импульса от 50 до 200 фс при сохранении полной энергии способствует замедлению его рассеяния в плазме, (уменьшение интенсивности в 2,5 раза, при уменьшении для короткого импульса в 5-10 раз) и способствует донесению большей интенсивности до высокой электронной плотности, что, в свою очередь, может способствовать повышению выхода горячих электронов.