

Фемтосекундная филаментации вихревых и бесселевых пучков  
в конденсированных средах  
Проект № 13-02-90476-Укр\_ф\_а  
(Материал, в научно-популярной форме иллюстрирующий основные  
результаты)

Исследование явления филаментации фемтосекундного лазерного излучения в прозрачных диэлектриках относится к быстро развивающемуся направлению современной нелинейной оптики. Филаментация мощных импульсов может рассматриваться как основа новых лазерных технологий и приложений, связанных с передачей световой энергии высокой поверхностной плотности на большие расстояния и формирования плазменных каналов в объеме нелинейной среды [1].

В узком лазерном пучке относительно легко достичь больших плотностей энергии. Однако в обычных условиях при распространении после фокусировки узкий пучок испытывает дифракционную расходимость и плотность энергии в нем падает. Если же импульс достаточно мощный, то за счет нелинейных эффектов, прежде всего Керровской нелинейности, пучок испытывает самофокусировку, которая в конкуренции с дефокусирующей нелинейностью, прежде всего плазменной, приводит к формированию лазерного филамента – длинной узкой нити с высокой плотностью световой энергии. Плазменная нелинейность возникает за счет генерации высокоинтенсивным световым импульсом в первоначально нейтральной среде свободных носителей заряда. Поэтому филаментация лазерного импульса сопровождается генерацией плазменных каналов. Все это приводит к трансформации спектра импульса – он сильно уширяется, возникает суперконтинуум. Появляются спектральные компоненты, распространяющиеся под углом к оси импульса, т.н. коническое излучение.

Световые пучки специального вида, такие как Бесселевы, могут и в линейном случае распространяться без дифракционного расплывания. При этом большая часть энергии импульса сосредоточена на периферии пучка. В экспериментальных условиях наших коллег из Института физики НАН Украины подобные пучки формируются после прохождения обычным Гауссовым пучком оптического элемента специального вида – аксикона. При филаментации кольцевая структура формируемого Бесселева пучка служит энергетическим резервуаром для восполнения потерь энергии в центральном филаменте.

Выполненное нами численное моделирование филаментации Бесселева пучка показало, что образующиеся филаменты и их плазменные каналы на его оси не являются непрерывными, а имеют фрагментарный характер (Рис. 1).

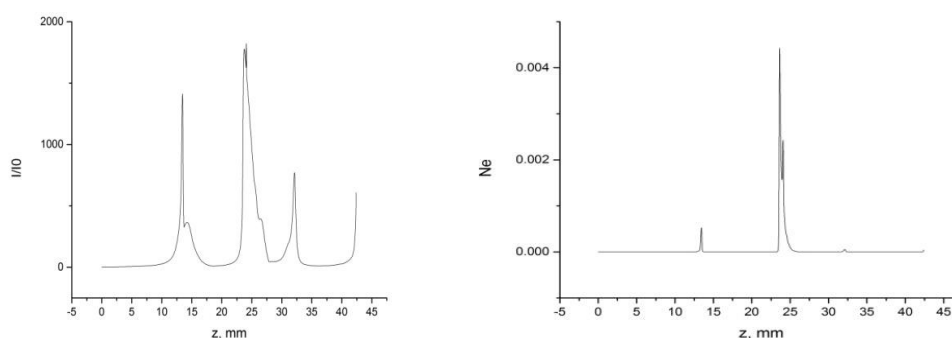


Рисунок 1 - Максимальная интенсивность импульса (слева) и концентрация свободных электронов (справа) в зависимости от расстояния до аксикона.

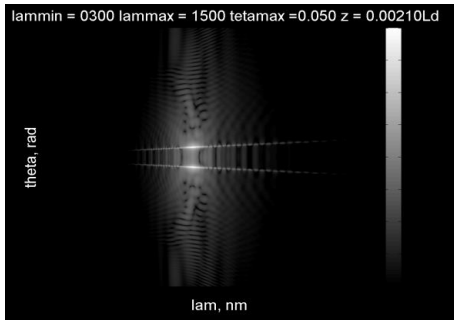


Рисунок 2 - Частотно-угловой спектр импульса на расстоянии 23,9 мм от аксикона.

Сильное уширение спектр импульса испытывает в области возникновения плазменного канала. При повторном росте концентрации свободных носителей заряда в структуре частотно-углового спектра появляется модуляция, являющаяся результатом интерференции излучения, испытавшего дефокусировку на первом и последующих фрагментах плазменного канала (Рис. 2).

Еще один вид специальных пучков – это вихревые или сингулярные пучки. Центральная часть таких пучков, как правило, имеет нулевую интенсивность, а фаза в этом месте испытывает скачок. Численное моделирование филаментации вихревых пучков значительно сложнее, так как они не обладают аксиальной симметрией. В этом случае для расчетов необходимо привлекать высокопроизводительные вычислительные кластеры, такие как, например, суперкомпьютер «Ломоносов» в Московском университете. Эффективное использование суперкомпьютера предполагает, что для

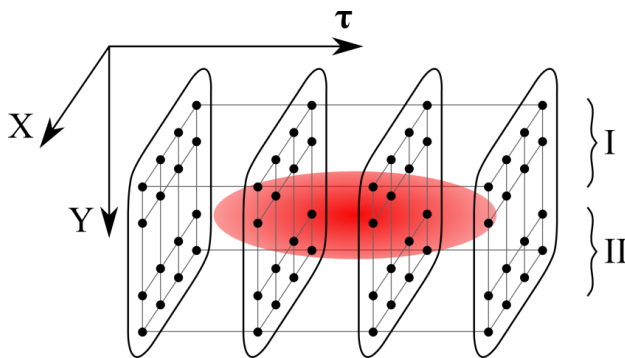


Рисунок 2 - Схема распределения данных по поперечной пространственной координате Y между двумя вычислительными процессорами кластера. Черные точки – узлы расчетной сетки. Римскими цифрами обозначены процессоры. Красная область условно обозначает лазерный импульс.

решения одной задачи одновременно привлекается большое количество вычислительных процессоров, обрабатывающих данные параллельно. При построении параллельного алгоритма ключевым является способ разделения данных между различными вычислительными узлами. В предложенном нами алгоритме использована схема с разделением по поперечной пространственной координате (Рис. 3). Нелокальной, требующей обмена данными, в этом случае является процедура решения задачи дифракции, в которой используется библиотека быстрого параллельного преобразования Фурье.

1. В.П. Кандидов, С.А. Шленов, О.Г. Косарева. Филаментация мощного фемтосекундного лазерного излучения // Квантовая электроника, т. 29(3), 205-238 (2009).