

УДК 535-34

## ГЕНЕРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕРАВАТТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ФИЛАМЕНТАЦИИ В ПЛОСКОЙ СТРУЕ ВОДЫ

Пономарева Е.А., Исмагилов А.О., Жукова М.О., Цыпкин А.Н.

(Университет ИТМО)

Научный руководитель – доцент ФФиОИ, к.ф.-м.н., Цыпкин А.Н.

(Университет ИТМО)

Обсуждается потенциал использования тераваттных субпикосендных инфракрасных импульсов для эффективной генерации рентгеновского излучения в плоской струе воды. Исследуется изменение энергии накачки, длительности импульса и его частотной модуляции для выявления условий, при которых достигается наиболее эффективное преобразование оптической накачки в рентгеновское излучение. Теоретический анализ динамики плотности квазисвободных электронов дает качественное совпадение с экспериментальными данными.

**Введение.** Источники рентгеновского излучения на основе плазмы представляют большой интерес за счет широких возможностей в области сверхбыстрой спектроскопии с разрешением во времени, микроскопии, визуализации и лазерной обработки материалов. Такие источники являются перспективными, поскольку по сравнению с синхротронным рентгеновским излучением, лазерная плазма позволяют формировать рентгеновские импульсы длительностью соизмеримой с длительностью импульса накачки и обеспечивают относительную простоту системы генерации.

Для поставленной задачи уже использовались как газы, так и конденсированные среды. Однако облучение среды импульсами тераваттной мощности может привести к интенсивной абляции и последующему разрушению твердого материала. Таким образом, в работе используются плоско-параллельные струи жидкостей, обеспечивающие условие, при котором каждый импульс повторения взаимодействует с обновленной гладкой поверхностью. При такой конфигурации жидкие среды имеют высокий потенциал, обеспечивая одновременно условия эффективной ионизации среды и высокий порог повреждения.

В данной работе экспериментально и методами численного моделирования исследуется возможность преобразования тераваттного излучения оптической накачки в частоты рентгеновского излучения в плоской струе воды.

**Основная часть.** В экспериментальной части исследования используется лазерная система Pulsar 200 TW, установленная в НИЦ Курчатовский Институт, с центральной длиной волны 800 нм, вертикальной поляризацией и частотой повторения импульсов в 10 Гц. Длительность импульса накачки и его энергия равны 40 фс и 4-120 мДж, соответственно. Изменение расстояния между решетками компрессора позволяло вводить дополнительный положительный или отрицательный чирп, варьируя длительность до 1600 фс. Лазерное излучение фокусируется на 100 мкм плоскую струю воды с помощью параболического зеркала с фокусным расстоянием 10 см под углом падения в 45 градусов.

Энергия генерируемого рентгеновского излучения измеряется с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), состоящего из NaI сцинтиллятора и бериллиевого окна с апертурой 25 мм. ФЭУ устанавливается на расстоянии 11 см от струи. Для измерения рентгеновского спектра используется Si-PIN детектор с термоэлектрическим охлаждением (XR-100CR, Amptek) с 5 мм апертурой, расположенной в 20 см от струи.

Для более глубокого понимания физических явлений, определяющих экспериментальные результаты, рассматривается динамика плотности ионизированных электронов при изменении энергии импульса накачки и его длительности. Используется уравнение однонаправленного распространения сверхкороткого импульса в веществе, учитывающее влияние линейной дисперсии, Керровский нелинейный отклик, поглощение и дефокусировку излучения из-за наведенной плазмы и многофотонное поглощение. Оно дополняется уравнением,

описывающим динамику населенности электронов, состоящее из компоненты для учета лавинной ионизации среды и многофотонной ионизации. Влияние диффузии и рекомбинации не учитывается, поскольку оно пренебрежимо мало на фемтосекундной и субпикосекундной шкалах времени.

**Выводы.** Экспериментально продемонстрированы и интерпретированы методами численного моделирования особенности преобразования излучения тераваттной оптической накачки в рентгеновские частоты в струе воды при изменении энергии, длительности импульса накачки, и знака частотной модуляции. Зависимость от длительности импульса накачки выявляет наличие оптимального значения для достижения максимальной энергии рентгеновского излучения. Предполагается, что сильная асимметрия этой зависимости для разных знаков частотной модуляции определяется изменением температуры ионизированных электронов. Кроме того, возможность изменения энергии накачки до сотен мДж позволила выявить характерную нелинейную зависимость с квазиквадратичным ростом и последующей областью насыщения. Теоретическое исследование позволило интерпретировать данные зависимости, выявив сильное влияние динамики населенности электронов на генерацию рентгеновского излучения. Эти результаты открывают новые возможности для генерации рентгеновского излучения в жидкостях при использовании тераваттной оптической накачки.

Пономарева Е.А. (автор)

Подпись

Цыпкин А.Н. (научный руководитель)

Подпись