

М.В. СЕДОВ, С.Н. РЯЗАНЦЕВ, И.Ю. СКОБЕЛЕВ
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АРГОНОВСКИХ МИКРОСТРУКТУР ПРИ ИХ ОБЛУЧЕНИИ МОЩНЫМ ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Методом частица-в-ячейке (PIC) проведена серия расчетов взаимодействия лазерного импульса с интенсивностью 10^{19} - 10^{22} Вт/см² с аргоновскими кластерами и микронитями диаметром 0.5- 1 мкм. С помощью построенной аналитической модели получены временные зависимости свечения подобных микроструктур в наиболее интенсивные линии в рентгеновском диапазоне: Ly_{α} и He_{α} .

M.V. SEDOV, S.N. RYAZANTSEV, I.YU. SKOBELEV
Joint Institut for High Temperature of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia
National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

MODELLING THE X-RAY RADIATION OF ARGON MICROSTRUCTURES DURING IRRADIATION WITH A POWERFUL FEMTOSECOND LASER PUMP

A series of calculations of the interaction of a laser pulse with an intensity of 10^{19} - 10^{22} W/cm² with Ar clusters and microfilaments with a diameter of 0.5-1 μ m were performed using the particle-in-cell (PIC) method. The constructed analytical model was used to determine the time dependencies of the X-ray yield of such microstructures in the most intense lines in the X-ray range (Ly_{α} and He_{α}).

Кластерные мишени представляют большой интерес как источник высокоэнергетичных заряженных частиц, а также как яркий точечный импульсный источник рентгеновского излучения [1-2]. Данный тип мишеней сочетает в себе практические преимущества газовой струи (не загрязняют вакуумную камеру и являются непрерывно обновляемыми), с высоким поглощением, соответствующим твердотельной мишени. Это позволяет использовать для создания плазмы лазеры с высокой частотой повторения импульсов (> 1 кГц). Расчеты взаимодействия коротких лазерных импульсов с кластерами обычно проводятся с помощью PIC-кодов (частица-в-ячейке), которые сами по себе являются весьма ресурсоемкими, и сочетание которых с кодами детальной радиационно-столкновительной кинетики требует использования вычислительных мощностей, недоступных большинству исследователей. Поэтому, как правило, моделирование лазерно-кластерной плазмы не включает в себя расчет излучаемых ею спектров.

В связи с этим в настоящей работе предлагается для оценки свечения плазмы в некоторых спектральных линиях малоэлектронных ионов использовать в PIC-расчетах простые аналитические модели. Конкретные результаты получены для плазмы аргоновых кластеров, очень часто использующихся в экспериментах с мощными фемтосекундными лазерными импульсами релятивистских интенсивностей.

Для моделирования эволюции лазерно-кластерной аргоновой плазмы использовался программный пакет EPOCH [3]. Применяемый PIC-код учитывает как полевую, так и столкновительную ионизации. Также в моделировании можно включить расчет тормозного излучения. С помощью построенной аналитической модели был проведен анализ параметров лазер-плазменного источника рентгеновского излучения (длительности свечения и полное число испущенных фотонов) в зависимости от лазерной интенсивности и размера кластера, также рассмотрена замена кластера на микронить из конденсированного аргона.

Подобные мишени околотвердотельной плотности потенциально привлекательны для создания сверхбыстрых источников рентгеновского излучения из-за своей высокой яркости и короткой длительности, вызванной быстрым разлетом мишени. С помощью предложенной аналитической модели, используемой в сочетании с PIC-расчетами, можно провести оптимизацию параметров подобного источника – получить минимальную длительность рентгеновского импульса, или максимальный коэффициент конверсии лазерной энергии в излучении выбранных линий. Второе практическое применение представленной модели – диагностика лазерной интенсивности в экспериментах с кластерными мишенями. Используя расчетную зависимость отношения интенсивностей линий Ly_{α} и He_{α} от лазерной интенсивности и размера кластера, при знании размера кластера, можно решить обратную задачу, и по отношению интенсивностей резонансных линий оценить лазерную интенсивность. Или, наоборот, зная лазерную интенсивность в фокальном пятне, можно оценить размер кластера, попавшего в фокальную перетяжку в конкретном выстреле.

Список литературы

1. Chen L.M. et. al. Bright betatron X-ray radiation from a laser-driven-clustering gas target // Scientific Reports. 2013. № 1(3). С. 1912.
2. Dorchie F. et. al. Observation of Subpicosecond X-Ray Emission from Laser-Cluster Interaction // Physical Review Letters. 2008. № 20(100). С. 205002.
3. Arber T.D. et. al. Contemporary particle-in-cell approach to laser-plasma modelling // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2015. № 11(57). С. 113001.