

Захват и ускорение электронов при взаимодействии интенсивного лазерного импульса фемтосекундной длительности с плазмой алюминия с учётом процессов ионизации

В. С. Попов^{1,2}, Д. В. Пугачёва^{1,2}, Н. Е. Андреев^{1,2}

¹ Московский физико-технический институт

² Объединённый институт высоких температур РАН

Кильватерные плазменные волны, возбуждаемые высокоинтенсивными короткими лазерными импульсами, в настоящее время вызывают интерес как способ достижения высоких энергий электронов. Такой способ ускорения электронов перспективен тем, что продольное электрическое поле в кильватерной волне может на несколько порядков превосходить величины, которые достижимы в стандартных высокочастотных ускорителях, что позволит создавать компактные ускорители высокоэнергетических пучков электронов для различных приложений.

В данной работе произведено трёхмерное моделирование методом «частиц в ячейке» [1] взаимодействия интенсивного лазерного импульса фемтосекундной длительности с плазмой алюминия с учётом ионизационных процессов. Целью работы является дальнейшая разработка модели, описывающей эксперименты по генерации пучков ускоренных электронов при взаимодействии интенсивного фемтосекундного лазерного излучения с краем алюминиевой фольги [2,3], включение в эту модель процессов ионизации и исследование генерации плазменных волн в плазме, зарядовый состав которой меняется в результате ионизации интенсивным излучением.

Расчёты проводились при следующих параметрах: длина лазерного импульса на половине высоты по интенсивности была равна $L = 18$ мкм, радиус пучка $r = 25$ мкм по уровню $1/e^2$, максимальная интенсивность в фокусе $I = 3 \times 10^{17}$ Вт/см². В начальный момент времени степень ионизации ионов плазмы составляла $i = 3$ при плотности $n_i = 1.667 \times 10^{20}$.

Захват и ускорение электронов проиллюстрированы на рис. 1, на котором изображена фазовая плоскость (x, p_x) для электронов в момент времени, когда центр лазерного импульса находится на расстоянии $x = 140$ мкм от левой границы области.

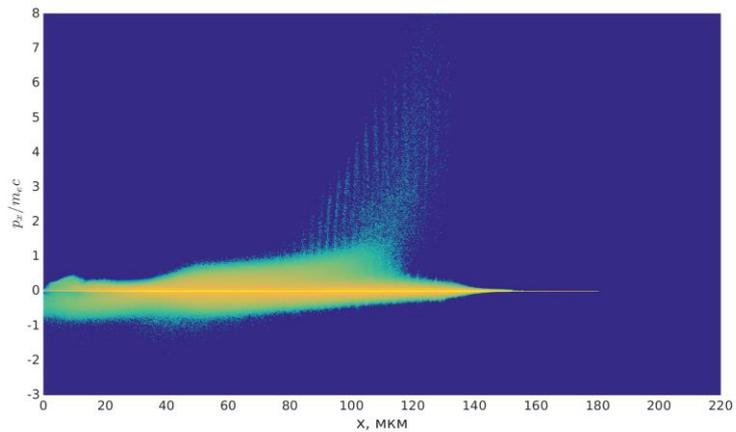


Рис. 1. Фазовая плоскость (x, p_x) для электронов в момент времени, когда центр лазерного импульса находится на расстоянии $x = 140$ мкм от левой границы области.

Возбуждение плазменной волны проиллюстрировано на рис. 2. На рис. 2а изображен промодулированный лазерный импульс (проекция электрического поля вдоль оси поляризации E_y) в момент времени, когда центр лазерного импульса находился на расстоянии $x = 140$ мкм от левой границы области. На рис. 2б показана плазменная волна (проекция электрического поля вдоль направления распространения E_x), возбуждённая лазерным импульсом, в этот же момент времени.

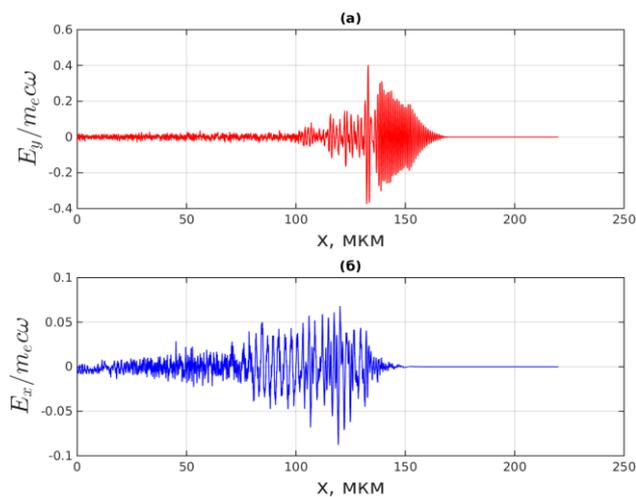


Рис. 2. Профиль промодулированного лазерного поля E_y (рис. 2а), и профиль плазменной волны E_x (рис. 2б), возбуждённой этим полем, на оси распространения лазерного импульса в момент времени, когда центр импульса находился на расстоянии $x = 140$ мкм от левой границы области.

Основной результат данной работы состоит в том, что при учёте ионизации возбуждение плазменной волны и захват электронов происходит при первоначальной гладкой гауссовой огибающей лазерного импульса, в то время как без учёта ионизации эти эффекты достигаются только при резкой (прямоугольной или гипергауссовой) форме огибающей импульса [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 14-02-01077.

Литература

1. *Pukhov A.J.* Three-dimensional electromagnetic relativistic particle-in-cell code VLPL (Virtual Laser Plasma Lab) // *Plasma Physics*. – 1999. – V. 61. – P. 425–433.
2. *Ю. А. Мальков, А. Н. Степанов, Д. А. Яшунин, Л. П. Пугачёв, П. Р. Левашов, Н. Е. Андреев, А. А. Андреев.* Лазерное ускорение электронов в двумерно неоднородной плазме на границе металлической фольги // *Квантовая электроника*. – 2013. – Т. 43, № 3. – С. 226–231.
3. *Л. П. Пугачёв, Н. Е. Андреев, П. Р. Левашов, Ю.А. Мальков, А. Н. Степанов, Д. А. Яшунин.* Генерация квазимонохроматических пучков ускоренных электронов при взаимодействии слабоконтрастного интенсивного фемтосекундного лазерного излучения с краем металлической фольги // *Физика плазмы*. – 2015. – Т. 41, № 7. – С. 588–599.