

Захват и ускорение электронов в плазме при взаимодействии с интенсивным коротким лазерным импульсом субтераваттной мощности

В. С. Попов^{1,2}, Л. П. Пугачёв^{1,2}, Н. Е. Андреев^{1,2}

¹ Московский физико-технический институт

² Объединенный 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, достижимые в стандартных высокочастотных ускорителях, что позволит создавать компактные ускорители пучков электронов с высокой энергией для различных применений. В частности, создание источников высокоэнергичных электронов для инъекции в лазер-плазменный ускоритель исследовалось в работах [1,2].

В работе проведено трехмерное моделирование методом «частиц в ячейке» [3] взаимодействия интенсивного лазерного импульса фемтосекундной длительности со струей ионизованного водорода. Целью работы является разработка и усовершенствование методов ускорения электронов в плазме при воздействии фемтосекундного лазерного импульса малой (40 мДж) энергии путем подбора энергии лазерного импульса и распределения плотности плазмы, а также сравнения этих результатов с экспериментом [2].

В расчетах лазерный импульс распространялся вдоль оси Ox и на левой границе расчетной области ($x = 0$) имел гауссову форму с плоским фазовым фронтом, длина лазерного импульса на половине высоты по интенсивности была 15 мкм, радиус 8.4 мкм по уровню $1/e^2$, а максимальная интенсивность $I = 9.388 \times 10^{17}$ Вт/см². Плотность плазмы распределена по гауссовому закону с максимумом равным $n_0 = 2.76 \times 10^{20}$ см⁻³ при $x = 300$ мкм и шириной на полувысоте равной $d = 200$ мкм.

Захват и ускорение электронов иллюстрирует Рис. 1, на котором изображена фазовая плоскость (x, p_x) электронов в момент времени, когда центр лазерного импульса находится на расстоянии $x = 264$ мкм от левой границы области. Спектр ускоренных электронов

(Рис. 2) показывает, что вылетевшие из плазмы вдоль оси OX электроны достигают энергий ~ 8 МэВ.

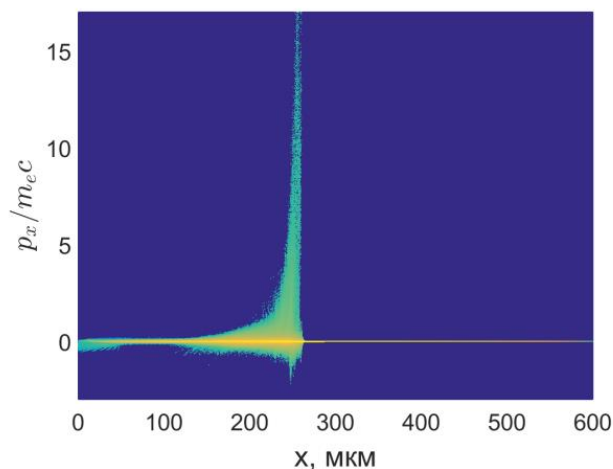


Рис. 1. Фазовая плоскость (x, p_x) для электронов в момент времени, когда центр лазерного импульса находится на расстоянии $x = 264$ мкм от левой границы области. p_x – импульс электрона, m_e – масса электрона, c – скорость света.

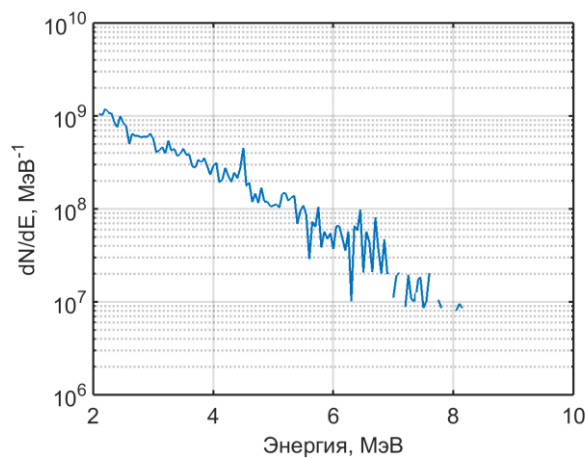


Рис. 2. Спектр ускоренных электронов, вылетевших из плазмы вдоль оси OX в момент времени $ct = 564$ мкм.

Основной результат работы состоит в изучении взаимодействия лазерного импульса малой (40 мДж) энергии со струей ионизованного водорода и демонстрации эффективного ускорения электронов до энергий ~ 8 МэВ, что согласуется с результатами эксперимента [2].

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

Литература

1. *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.
2. *Goers A. J., Feder G.A., Miao B., Salehi F., Wahlstrand J.K., and Milchberg H.M.* Multi-MeV Electron Acceleration by Subterawatt Laser Pulses // *Physical Review Letters.* – 2015. – V. 115. – P. 194802.
3. *Pukhov A.J.* Three-dimensional electromagnetic relativistic particle-in-cell code VLPL (Virtual Laser Plasma Lab) // *Plasma Physics.* – 1999. – V. 61. – P. 425–433.