Особенности процессов захвата и ускорения электронов при взаимодействии самофокусирующегося лазерного импульса с плазменной струёй

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

1Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия  
2Объединённый институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия

В настоящее время имеется большой интерес в получении пучков высокоэнергичных электронов на компактных установках, для использования в различных приложениях, таких как медицина, получение изотопов, диагностика вещества, и другое. Постройка таких ускорителей возможна с применением лазер-плазменного метода ускорения электронов. Этот метод отличается от вакуумного ускорения намного большими ускоряющими полями, что позволяет значительно уменьшить размеры ускорителя. Создание источников высокоэнергичных электронов для инжекции в лазер-плазменный ускоритель было рассмотрено в [1], [2]. В предыдущей работе [3] исследовалось влияние самофокусировки лазерного импульса на процесс генерации плазменной волны. Данная работа посвящена изучению особенностей процессов захвата и ускорения электронов в слое плазмы при взаимодействии лазерного импульса с газовой струей, с учётом процесса самофокусировки лазерного импульса. Также в работе исследуются свойства пучка ускоренных электронов, такие как распределение заряженных частиц по энергиям и углам. Численное моделирование лазерно-плазменного взаимодействия было проведено с использованием трехмерного PIC-кода (”particle-in-cell”) [4]. Параметры лазерного импульса, падающего на плазму, в расчетах соответствуют эксперименту [2]. Параметры расчётов следующие:размер лазерного пятна и длительность импульса равны 9.7 мкм и τ = 50 фс, центральная длина волны лазера равна 1 мкм, интенсивность лазерного импульса равна 7×1017 Вт/см2, что соответствует безразмерной амплитуде a0 = 0.715. Энергия лазерного импульса W = 40 МДж, а мощность лазерного импульса P = W / τ = 0.8 ТВт. Распределение плотности водородной плазмы вдоль направления распространения лазерного импульса гауссово с характерной шириной, равной 200 мкм, максимум плотности составляет nmax=2×1020 см-3 (nmax/ncr = 0.1882), где ncr – критическая плотность плазмы  ( – плазменная частота, с – скорость света, m, e – масса и заряд электрона).

В результате анализа распространения лазерного импульса и динамики плазменной волны, генерируемой позади лазерного импульса, были получены следующие результаты: когда лазерный импульс в процессе его распространения в плазме достигает области, где мощность импульса превышает критическое значение для самофокусировки, импульс самофокусируется, и крутизна переднего фронта импульса увеличивается. Далее, сжатие лазерного импульса в поперечном направлении и увеличение амплитуды лазерного поля приводят к самомодуляции импульса. С ростом глубины самомдуляции фазовая скорость плазменной волны уменьшается по сравнению с групповой скоростью лазерного импульса, согласно [5]. Это приводит к захвату фоновых электронов плазмы, а также последующему ускорению захваченных электронов в поле плазменной волны до энергии порядка 10 МэВ. При этом распределение ускоренных электронов по энергиям согласуется с данными, полученными в эксперименте [2].

Литература

1. Malkov Y.A., Stepanov A.N., Yashunin D.A., Pugachev L.P., Levashov P.R., Andreev N.E. and Andreev A. A. // Quantum Electronics. 2013. V. 43. P. 226 – 31.
2. Goers A. J., Feder G.A., Miao B., Salehi F., Wahlstrand J.K., and Milchberg H.M. // Physical Review Letters. 2015. PRL. 115. 194802.
3. Popov V. S., Pugachev L. P. and N. E. Andreev. // Journal of Physics: Conference Series. 2018, in press.
4. Pukhov A.J. // Plasma Physics. 1999. V. 61. P. 425 – 433.
5. Andreev N. E., Kirsanov V. I., and Gorbunov L. M. // Physics of Plasmas. 1995. V. 2. 2573.