Физика захвата сторонних электронов кильватерной волной при плавном нарастании плотности плазмы

1,2Туев П.В., 1,2Горн А.А., 1,2Лотов К.В., 1,2Соседкин А.П.

1Институт ядерной физики им. Г.И. Будкеpа СО РАН, г. Новосибирск, Россия,  
  [ptuevff@gmail.com](mailto:ptuevff@gmail.com)  
2Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Наиболее передовыми и универсальными инструментами исследования фунда­мен­таль­ного строения вселенной являются ускорители заряженных частиц. Энергия пучков возрастает в разы с каждым новым поколением больших установок. В тоже время классические ВЧ структуры способны выдерживать поля не более 100 МВ/м, что задает размер будущих установок более десятка километров [1, 2]. Другим путем является развитие новых методов ускорения, способных задействовать большие ускоряющие поля, что возможно с использованием плазмы. Компактный релятивистский объект, драйвер, способен возбуждать в ней ленгмюровскую волну с продольным электрическим полем на уровне 100 ГВ/м.

Для дальнейшего исследования фундаментального устройства мира интересно получение электронных пучков с энергией ~500 ГэВ с полным энергосодержанием пучка ~1 кДж [2]. Энергия ускоренного пучка не может превышать полной энергии драйвера. В обозримом будущем таким энергозапасом будут обладать только протонные пучки с энергией частиц ~ 1 ТэВ. Основная проблема использования в качестве драйвера протонных пучков — их продольный размер, который превышает плазменную длину волны в сотни раз. Использование таких пучков для ускорения возможно после развития модуляционной пучково-плазменной неустойчивости, что приводит к требованию на однородность плотности плазмы на уровне долей процента. В реальности невозможно создать прямоугольное распределение плотности, что приводит к задаче об исследовании влияния краевых неоднородностей на механизмы ускорения частиц в плазме.

В данной работе рассматривается взаимодействие релятивистского протонного пучка с плазменным шнуром переменной плотности вдоль оси симметрии. Параметры плазмы и драйвера соответствуют условиям первого эксперимента по протонному кильватерному ускорению AWAKE [3]. С помощью численного моделирования программным комплексом LCODE [4] изучен захват электронов в возбуждаемую ленгмюровскую волну. Идентифицированы и объяснены области захвата электронов в фазовом пространстве начальных координат и импульсов. Показано, что инжектируемый строго по оси электронный пучок в плазме с плавным нарастанием плотности дефокусируется. Это связано с наличием эффекта плазменной линзы, который появляется из-за нелокальной компенсации тока протонного пучка плазмой. В однородной плазме дефокусировкой электронов можно пренебречь по сравнению с радиальной силой кильватерной волны. При плавном же нарастании плотности плазмы средний вклад кильватерной волны оказывается малым из-за быстрого изменения ее фазы, и остается только действие тока пучка. Поэтому при увеличении длины неоднородности область захвата электронов полностью перемещается с оси на периферию плазмы.

Литература

1. В.Д. Шильцев, УФН, 2012, 182, 1033-1046.
2. M.L. Mangano, Proc. PAC07, 2007, 3830-3834.
3. A. Caldwell, et al., Nuclear Instr. Meth. A, 2016, 829, 3-16
4. A.P. Sosedkin, K.V. Lotov, Nuclear Instr. Meth. A, 2016, 829, 350-352