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
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