Нейтронный выход из дейтериевой плазмы

А.Ю. Чирков, В.Р. Веснин, В.В. Долганов

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, chirkov@bmstu.ru

Создание мощных источников нейтронов с энергией ~10 МэВ на основе реакций ядерного синтеза сегодня рассматривается как весьма перспективное направление развития энергетики недалекого будущего [1]. Такие системы потенциально способны решать задачи утилизации радиоактивных отходов, замыкания ядерного топливного цикла, а также выполнять функцию драйвера в гибридном термоядерно-ядерном реакторе для производства энергии и ядерного топлива. В настоящее время разработаны схемы генерации нейтронов на основе ускорителей и термоядерной плазмы [1, 2]. В проектах термоядерных источников нейтронов рассматривалась только D–T-реакция. Для ускорительных систем рассматривались реакции дейтерия с литием.

Наиболее привлекательной с точки зрения доступности компонентов является, видимо, D–D-реакция, протекающая по двум почти равновероятным каналам:

 D + D → n (2,45 МэВ) + 3He (0,817 МэВ), (1)

 D + D → p (3,02 МэВ) + T (1,01 МэВ), (2)

В настоящей работе рассматриваются возможности использования D–D-плазмы, удерживаемой в магнитной ловушке, для генерации быстрых нейтронов.

Важное преимущество D–D-реакции заключается в том, что отпадает необходимость воспроизводства трития. Энергия D–D-нейтронов недостаточно высока для указанных выше приложений, так как характерные пороги реакций трансмутации составляют около 5 МэВ. Однако D–D-плазма может быть источником нейтронов с энергией 14 МэВ, которые рождаются в результате сгорания трития, производимого в реакции (2). Скорость D–T-реакции высока, и, следовательно, значительная часть трития будет сгорать до того, как успеет покинуть ловушку. Оценки для условий «катализированного» D–D-цикла показывают выгорание трития на уровне 70% [3]. Необходимо подчеркнуть, что для систем на основе D–D-реакции коэффициент усиления мощности в плазме достигает величины *Q* ~ 1 только при отношении давлений плазмы и магнитного поля β ≈ 0,5 и выше [4]. Поэтому для рассматриваемых систем могут использоваться открытая ловушка, обращенная магнитная конфигурация, и, возможно, сферический токамак. Для увеличения скорости реакции может быть использован интенсивный нагрев пучком быстрых атомов. Для оценки эффекта быстрых частиц использован ранее разработанный подход [5]. Также рассмотрено влияние примеси лития, который в небольшом количестве улучшает энергобаланс D–D-плазмы, так как может вступать в реакции с дейтерием. В ряде таких реакций могут рождаться быстрые нейтроны. В результате анализа сформулированы требования к параметрам плазмы и магнитной ловушки, позволяющие представить возможную концепцию источника термоядерных нейтронов на основе дейтериевой плазмы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, госзадание №13.2573.2014/K.

Литература

1. Юров Д.В., Приходько В.В. // УФН. 2014. Т. 184. С. 1237–1248.
2. Кутеев Б.В. и др. // Физика плазмы. 2010. Т. 36. С. 307–346.
3. Khvesyuk V.I., Chirkov A.Yu. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2002. V. 44. P. 253–260.
4. Chirkov A.Yu., Khvesyuk V.I. // Fusion Technol. 2001. V. 39, No. 1T. P. 406–409.
5. Chirkov A.Yu. // Nucl. Fusion. 2015. V. 55. 113027.