Влияние нестационарных процессов в плазме ИТЭРа на возможности измерения изотопного соотношения термоядерного топлива анализаторами атомных частиц

В.М. Тимохин1, В.Ю. Сергеев1, В.И. Афанасьев2, М.И. Миронов2, В.Г. Несеневич2, М.П. Петров2

1Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого,  
 Санкт-Петербург, Россия, [office@spbstu.ru](mailto:office@spbstu.ru)  
2ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, [post@mail.ioffe.ru](mailto:post@mail.ioffe.ru)

Система диагностики по потокам атомов изотопов водорода, испускаемых плазмой реактора ИТЭР, основана на измерении абсолютных потоков этих атомов и анализе их энергетических спектров. Данная диагностика служит прямым методом измерения изотопного соотношения ионов водорода в плазме, поскольку оно непосредственно связано с соотношением потоков атомов соответствующих изотопов водорода. В условиях термоядерного дейтерий-тритиевого реактора ИТЭР измерение и контроль изотопного соотношения топлива (D/T) в плазме является задачей первостепенной важности — ее решение позволит обеспечить оптимальный режим термоядерного горения. В работе [1] показано, что плазма ИТЭРа будет испускать достаточные потоки атомов дейтерия и трития для их надежного измерения, что даст возможность с достаточной точностью измерять изотопное соотношение топлива как в центральной области плазмы ИТЭРа, так и на ее периферии. Именно это послужило причиной включения диагностики по потокам атомов в приоритетный список диагностических систем на ИТЭРе [2].

Представленная работа посвящена установлению возможности измерения изотопного соотношения термоядерного топлива ИТЭРа анализаторами атомных частиц при наличии нестационарных МГД процессов в плазме, таких, как пилообразные колебания и эльмы в центральной и периферийной областях плазменного шнура. В работе приводятся результаты возможного влияния таких эффектов на распределение топливных изотопов и на измерения изотопного соотношения атомными анализаторами.

Расчеты распределений топливных изотопов вдоль малого радиуса плазмы, совпадающего с линией наблюдения атомных анализаторов, производились с помощью кода ASTRA [3]. В качестве режима для вычислений брался базовый стандартный сценарий (BPP) ITER с периферийным транспортным барьером (H mode) [2]. Периодические колебания температуры и плотности плазмы в центральной области плазменного шнура из-за МГД-неустойчивости внутреннего срыва (пилообразные колебания) и на периферии (Edge Localized Mode Type I) эффективно учитывались посредством соответствующих периодических возмущений профилей коэффициентов переноса. В центральных областях плазменного шнура *r*≤ 0,5*a* (*a*= 2 м — малый радиус плазмы) амплитуда колебаний температуры и плотности может достигать 20% [4]. Периферийные колебания плотности и температуры с амплитудой до 50% ожидаются в области 0,8*a* ≤ *r* ≤ *a*  [5]. Частота МГД-колебаний составляет несколько Герц для центральной и периферийной областей плазмы. На основе полученных временных зависимостях профилей дейтерия и трития, а также температуры рассчитывался сигнал атомных анализаторов. Изучалась чувствительность сигналов анализаторов к амплитуде и периоду МГД-эффектов.

Литература

1. V.I. Afanasyev et al. ”Nucl. Instrum. & Meth. in Physics Research” A 621 (2010) 456–467.
2. ITER Physics Basis. Chapter 7, Nucl. Fusion 47 (2007) S337–S384
3. G. Pereverzev, P.N.Yushmanov, IPP-Report 5/98 (2002)
4. I.T. Chapman et al. Plasma Phys. Control. Fusion 53 (2011) 124003 (14pp)
5. A. Loarte et al. Nucl. Fusion 54 (2014) 033007.