измерения плотности и флуктуаций плотности плазмы на токамаках Т-10 и Т-11М с помощью корреляционной рефлектометрии и времяпролётной рефрактометрии

Петров А.А., 1Вершков В.А., Петров В.Г., 1Шелухин Д.А.

Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк,  
 г. Москва, Россия, [petroff@triniti.ru](file:///C:\Users\a.petrov\Downloads\petroff@triniti.ru)  
1НИЦ "Курчатовский институт", г. Москва, Россия, [V.Vershkov@fc.iterru.ru](file:///C:\Users\a.petrov\Downloads\V.Vershkov@fc.iterru.ru)

В настоящее время корреляционная рефлектометрия [1] является широко распространённым методом измерения поведения флуктуаций плотности плазмы на целом ряде крупных установок: Т-10, JET, Tore Supra, JT-60, *etc*. В ИТЭР для проведения полоидальных и тороидальных корреляционных измерений флуктуаций и профиля плотности плазмы Россией разрабатывается рефлектометрия со стороны сильного поля (HFSR) [2]. Аппаратура для этих исследований будет размещена в трёх диагностических сечениях ИТЭР и объединена в единый измерительный комплекс.

Недавно было предложено расширить проект HFSR ИТЭР рефрактометрическими измерениями — на просвет [3], используя окно прозрачности для необыкновенной волны в ИТЭР (40 – 110 ГГц). Это позволит определить интеграл плотности по хорде зондирования и форм-фактор профиля плотности [4].

В рамках отработки методических и схемотехнических решений, принятых для HFSR ИТЭР, на установках Т-10 и Т-11М проводится работа по тестированию макетов рефлектометров и рефрактометров. Результаты измерений по единой методике, проведенные на установках разных размеров, позволят уточнить масштабный скейлинг зависимости флуктуаций плотности от размеров плазмы и других параметров установки и, следовательно, уточнить прогнозы об ожидаемом уровне флуктуаций в ИТЭР для различных сценариев.

Описываются схемы экспериментов, проведенных на токамаках Т-10 и Т-11М рефрактометром/рефлектометром. Приводятся блок-схемы двухканального гетеродинного корреляционного рефлектометра Ка диапазона (26,5 – 40,0 ГГц) и импульсного времяпролётного рефрактометра с частотой зондирования 94 ГГц на Т-11М.

Приводятся первые результаты, полученные при применении корреляционной рефлектометрии на Т-11М в ходе экспериментов с литиевым лимитером. Оценивается угловая скорость вращения плазмы в Т-11М, приводятся спектры флуктуаций при различных значениях плотности электронов. Проведено сравнение значений плотности полученных с помощью рефрактометра и Коттон-Мутон поляриметра [5] на Т-11М; рефлектометра в режиме 1-проходного рефрактометра (на просвет) с микроволновым интерферометром на Т-10. Предлагается параметрическая зависимость частоты МГД колебаний от параметров установки.

Литература

1. Д.А. Шелухин, С.В. Солдатов, В.А. Вершков, А.О. Уразбаев. Применение рефлектометрии для оценки локальных параметров флуктуаций плотности плазмы, Физика плазмы, 2006, Т. 32, N 9. с. 771-781.
2. System Design Description Document (DDD) for 55F9 HFS Reflectometry (ITER\_D\_3WD9DT v2.1)
3. Krasilnikov A.V., Kaschuck Yu.A., Vershkov V.A., Petrov A.A., Petrov V.G., Tugarinov S.N. Int. Conf. on Fusion Reactor Diagnostics, Varenna, Italy, Sept. 9–13, 2013.
4. Petrov A.A., Petrov V.G. Rev. Sci. Instrum. 74, **2003**. P.1465.
5. Петров В. Г., Петров А. А., Малышев А. Ю. и др. Физика плазмы, т. 30, №2, **2004**. C. 129.