Применение гетеродинной корреляционной рефлектометрии на токамаке Т-11 М. Предварительные результаты

1,3Вершков В.А., 2,3Петров А.А., 2,3Петров В.Г., 1,3Шелухин Д.А.

1НИЦ "Курчатовский институт", г. Москва, Россия, [v.vershkov@fc.iterru.ru](mailto:v.vershkov@fc.iterru.ru)   
2 Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк, г. Москва, Россия, [vpetrov@triniti.ru](mailto:vpetrov@triniti.ru)   
3 Координационный центр «Управляемый термоядерный синтез – международные проекты», г. Москва, Россия, [d.shelukhi@fc.iterru.ru](mailto:d.shelukhi@fc.iterru.ru)

В настоящее время корреляционная рефлектометрия [1] является широко распространённым методом измерения поведения флуктуаций плотности плазмы на целом ряде крупных установок: JET, Tore Supra, JT-60, Т-10, и т.п.

На токамаке T-10 турбулентность была измерена на 60° по полоидальному направлению от экватора со стороны слабого магнитного поля (LFS). Полученные на Т-10 данные хорошо описываются выражением δn/n = 0,2⋅qa⋅r/Ln, где r и Ln – малый радиус и характерная длина спада плотности, соответственно. С учетом увеличения уровня интегральной турбулентности на LFS в 1,28 раза, это выражение для стороны слабого магнитного поля можно записать в виде δn/n = 0,256⋅qar/Ln [2]. Для того чтобы экстраполировать параметры турбулентности на ИТЭР, важно проведение экспериментов по измерениям турбулентности по единой методике на токамаках с разными a, R. Такие эксперименты были проведены на токамаке Т-11 М (R = 70 см, а = 18…19 см, B = 1 T, Ip = 70 кА), при этом использовался гетеродинный корреляционный рефлектометр, аналогичный примененному в экспериментах на установке Т-10.

В работе описывается схема экспериментов, проведенных на токамаке Т-11М, приводится блок-схема двухканального гетеродинного корреляционного рефлектометра Ка диапазона (26,5 – 40.0 ГГц, ncr = 0,084…0,198⋅1020 м–3), построенного с использованием перестраиваемых твердотельных генераторов (VCO – voltage controlled oscillators) и эффективных умножителей частоты. Измерения фазы проводились на промежуточной частоте 20 МГц, с помощью I/Q демодулятора. Для обработки данных использовалось программное обеспечение, идентичное примененному в предыдущих экспериментах на токамаке Т-10.

Зондирование плазмы проводилось на обыкновенной волне со стороны слабого магнитного поля. При этом использовалась антенная система рефлектометрии токамака Т-11М, специально разработанная для этих целей, состоящая из трех рупорных антенн, разнесенных в полоидальном направлении.

Полученные в результате проведенных экспериментов данные о радиальной зависимости флуктуаций плотности на Т-11 М позволили уточнить скэйлинг Т-10 [2], введя в него зависимость от большого радиуса R. Проведено также сравнение радиальной зависимости турбулентности δn/n, измеренной на установке Tore Supra в работе [3], с уточненным по результатам экспериментов на Т-11 М скэйлингом. Отмечается достаточное хорошее соответствие экспериментальных данных и модифицированного скэйлинга Т-10, особенно в области r/a < 0.5, то время как в области r/a > 0.5 экспериментально измеренный уровень флуктуаций оказался ниже, чем предсказывает модифицированный скэйлинг Т-10.

Литература

1. Д.А. Шелухин, С.В. Солдатов, В.А. Вершков, А.О. Уразбаев. Физика плазмы, 2006,   
   Т. 32, N 9. с. 771 – 781.
2. V.A. Vershkov, D.A. Shelukhin, G.F. Subbotin, Nucl. Fusion 55 (2015) 063014 (15 p).
3. T. Gerbaud, F. Clairet, R. Sabot, and A. Sirinelli et al, RSI, 77, 10E928 (2006).