

## Методика восстановления спектров микро-турбулентности плотности плазмы по данным радиальной корреляционной рефлектометрии

*Н. В. Косолапова<sup>1</sup>, Е. З. Гусаков<sup>1</sup>, S. Neuraux<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

*тел: (812) 292-79-27, эл. почта: n.kosolapova@mail.ioffe.ru*

<sup>2</sup>Университет А. Пуанкаре, Нанси, Франция

Токамак (ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками) — тороидальная установка для магнитного удержания плазмы специально создаваемым магнитным полем. В реальных условиях плазма неравновесна и поэтому редко бывает спокойной — как правило, в ней самопроизвольно возбуждаются самые различные шумы и колебания. Эксперименты с плазмой в магнитном поле обнаружили ряд явлений, связанных с колебаниями плазмы. Усиленная диффузия плазмы определяется хаотическими колебаниями электрического поля, возникающими вследствие неустойчивости. В настоящее время под турбулентностью плазмы принято понимать такое ее движение, при котором возбуждено большое число коллективных степеней свободы. Термин турбулентность в применении к плазме используется в более широком смысле, нежели в гидродинамике. Если гидродинамическая турбулентность представляет собой набор большого числа взаимодействующих между собой вихрей, то в плазме наряду с вихрями могут быть возбуждены разного рода волны. В плазменных экспериментах турбулентность — довольно частое явление. О наличии турбулентного движения можно судить по макроскопическим проявлениям. Ясно, однако, что изучение одних только макроскопических параметров, т.е. усредненных характеристик, без исследования частотного спектра, амплитуды колебаний и спектра по волновым числам не позволяет однозначно определить, какой именно тип турбулентного движения ответственен за данное макроскопическое явление [1].

Флуктуационная рефлектометрия широко используется для исследования низкочастотной турбулентности плазмы в установках с магнитным удержанием. Её привлекательными чертами является сравнительная техническая простота, возможность совмещения положения передающей и принимающей антенн и неплохая локализация измерений положением отсечки зондирующей волны, а недостатком — плохое разрешение по волновым числам флуктуаций. Принцип радиальной корреляционной рефлектометрии (РКР), предложенной для исправления этого недостатка, состоит в одновременном зондировании плазмы на двух разных частотах и в последующем корреляционном анализе сигналов рассеяния [2]. Интерпретация результатов диагностики, как правило, производится путём отождествления кросскорреляционной функции (ККФ) принятых сигналов и ККФ турбулентности. Следует отметить, что такая интерпретация является чисто интуитивной и противоречит результатам теоретического анализа (аналитического и численного), как в случае малого уровня флуктуаций плотности, когда рассеяние линейно [3], [4], так и при переходе в режим сильной фазовой модуляции [4], [5]. Тем не менее, в первом случае, как показано в настоящей работе в результате анализа флуктуационной рефлектометрии в одномерной модели, существует процедура восстановления спектра микро-турбулентности по данным РКР диагностики для произвольного профиля плотности плазмы.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования процедуры восстановления спектров микро-турбулентности по данным РКР, проведённого

в одномерной модели для частного случая линейного профиля плотности плазмы. Качество восстановления исследовалось в зависимости от статистики и ширины диапазона зондирования. Показано, что наиболее точно удаётся восстановить не спектр, а корреляционную функцию турбулентности. Также исследовано восстановление пространственно неоднородного спектра микро-турбулентности, моделирующего транспортный барьер.

### Литература

1. Б. Б. Кадомцев, ред. М. А. Леонтовича «Вопросы теории плазмы», выпуск 4, Атомиздат, М., 1964
2. N. Bretz, 1992 Physical Fluids B4(8) 2414
3. H. Hutchinson, 1992 PPCF 34 1225
4. G. Leclert, S. Heraux, E. Z. Gusakov, A. Yu. Popov, I. Boucher, L. Vermate, 2006 PPCF 48 1389
5. E. Gusakov, A. Popov, 2002 PPCF 44 2327