

А.В. Сурков (6 курс, каф. ФП), Е.З. Гусаков, д.ф.-м.н., проф. (ФТИ им.Иоффе)

МНОГОКРАТНОЕ МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЙНИЕ В ВЕРХНЕМ ГИБРИДНОМ РЕЗОНАНСЕ

В настоящее время большое внимание привлекает изучение флуктуаций плотности плазмы, играющих определяющую роль в аномальном переносе в токамаках. Подходящим инструментом для таких исследований является диагностика на основе усиленного рассеяния микроволн, разработанная в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Этот метод основан на рассеянии необыкновенной электромагнитной волны на флуктуациях плотности плазмы вблизи верхнего гибридного резонанса (ВГР). Необыкновенная волна распространяется поперек магнитного поля и не имеет компоненты электрического поля вдоль магнитного поля плазмы. Такие волны в определенном диапазоне частот имеют резонанс в плазме, по мере приближения к которому коэффициент преломления волны растет, а длина волны уменьшается. Групповая скорость волны в этой области уменьшается, что сопровождается ростом амплитуды поля волны, обеспечивая сохранение вектора Пойтинга. Этот амплитудный рост вызывает усиление сигнала, рассеянного на флуктуациях в плазме.

При исследованиях этим методом в плазму излучается необыкновенная волна вдоль направления неоднородности плотности и регистрируется сигнал, рассеянный назад флуктуациями плотности плазмы. Анализируется его частотный спектр, а с помощью времяпролетной модификации метода, а также корреляционного рассеяния можно измерить и спектр волновых чисел флуктуаций, причем малая длина волны зондирующего сигнала, позволяет исследовать мелкомасштабные флуктуации плотности плазмы, а усиление рассеяния дает возможность изучать флуктуации малых амплитуд, недоступные для других методов.

Эксперименты на линейных плазменных установках с искусственно возбуждаемыми волнами различных типов подтвердили возможность применения этого метода для диагностики флуктуаций и позволили получить дисперсионные соотношения для них.

В то же время, в экспериментах проведенных на токамаке ФТ-1 частотный спектр рассеянного назад сигнала был сильно уширен без какого-либо существенного сдвига максимума спектра. Это может быть связано с влиянием многократного малоуглового рассеяния, которое, как было показано авторами ранее, может быть очень существенно, так как длинноволновых флуктуаций, вызывающих малоугловое рассеяние, в плазме существенно больше, чем коротковолновых, вызывающих рассеяние назад и малоугловое рассеяние также оказывается усиленным.

В настоящей работе изучалось влияние многократного малоуглового рассеяния на частотный спектр зондирующей и рассеянной назад волн, а также на результаты корреляционного анализа рассеяния назад.

Для этой цели требовалось получить выражения для формы частотных спектров зондирующей и рассеянной волн, и для взаимной корреляционной функции сигналов рассеяния на двух различных частотах в присутствии длинноволновых флуктуаций.

Так как ранее авторами было обнаружено, что малоугловое рассеяние на длинноволновых флуктуациях плотности плазмы имеет характер фазовой модуляции, то его влияние учитывалось введением флуктуационного набега фазы в выражениях для полей зондирующей и рассеянной необыкновенных волн.

Уширение частотного спектра зондирующей волны было исследовано в ВКБ-приближении. Было обнаружено, что на расстояниях от ВГР больших среднего масштаба длинноволновых флуктуаций ширина частотного спектра пропорциональна квадрату коэффициента преломления, а на меньших расстояниях зависит от него линейно. Для зондирующей волны за точкой трансформации (Бернштейновской волны) в области

применимости ВКБ вблизи ВГР также наблюдается линейная зависимость, что позволяет свести выражения для формы спектра, а далее ширина частотного спектра пропорциональна логарифму коэффициента преломления.

Выражения для частотного спектра рассеянной волны также были получены, причем исследовались два случая: когда рассеяние назад вызвано неподвижными коротковолновыми флуктуациями и коротковолновыми флуктуациями, замороженными в длинноволновую компоненту турбулентности (т. е. с учетом возникающего эффекта Доплера).

Для коротковолновых флуктуаций этих двух типов был вычислен коррелятор, измеряемый в корреляционной диагностике усиленного рассеяния. Выражение для него было получено как в области применимости ВКБ, так и вблизи ВГР, где ВКБ - приближение нарушается, и описывает разрушение корреляций вследствие наличия длинноволновых флуктуаций в зависимости от спектральной плотности флуктуаций плотности, скорости, их взаимного спектра, а также от спектральной плотности коротковолновых флуктуаций, вызывающих рассеяние назад.

Проведенные по этим результатам численные оценки для длинноволновых флуктуаций дрейфового типа хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными, которые, однако, не позволяют сделать заключение о замороженности коротковолновых флуктуаций в длинноволновые. Более детальные эксперименты, возможно, позволят определить параметры длинноволновой компоненты турбулентности.

В настоящей работе было исследовано влияние многократного малоуглового рассеяния на частотные спектры зондирующей и рассеянной необыкновенных волн, а также на результаты диагностики корреляционного усиленного рассеяния. Рассмотрены случаи рассеяния зондирующей волны, как на неподвижных коротковолновых флуктуациях, так и на флуктуациях замороженных в длинноволновую компоненту турбулентности.