

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН НИЖНЕГО ГИБРИДНОГО ДИАПАЗОНА В РЕЖИМЕ БЕЗЫНДУКЦИОННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТОКА В ТОКАМАКЕ ФТ-2 С ПОМОЩЬЮ ЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ^{*)}

Коновалов А.Н., Алтухов А.Б., Гурченко А.Д., Гусаков Е.З., Дьяченко В.В.,
Есипов Л.А., Куприенко Д.В., Лашкул С.И.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия, konov.al@mail.ioffe.ru

Распространение в токамаке высокочастотных (ВЧ) волн нижнего гибридного (НГ) диапазона частот, используемых для безындукционной генерации тока, является сложным феноменом, зачастую сопровождаемым развитием нелинейных эффектов. В водородном режиме токамака ФТ-2 с инъекцией ВЧ-волн на частоте $f_{RF} = 923$ МГц при центральной плотности $1.5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, токе 23 кА и магнитном поле 2 Тл исследовались сигналы двух ВЧ-зондов, расположенных в сечении двух-волноводного ВЧ-грилла (P_1) и сечении, сдвинутом на 90° в тороидальном направлении (P_2). На спектрах зондов помимо интенсивной линии на частоте накачки f_{RF} регистрировался ряд ($i = 1..5$) практически эквидистантных спектральных ВЧ-спутников $f_{HF(i)}$ в диапазоне 740-880 МГц, а также широкие шумовые спектры с набором спектральных линий $f_{LF(i)}$ в низкочастотной (НЧ) области 40-180 МГц.

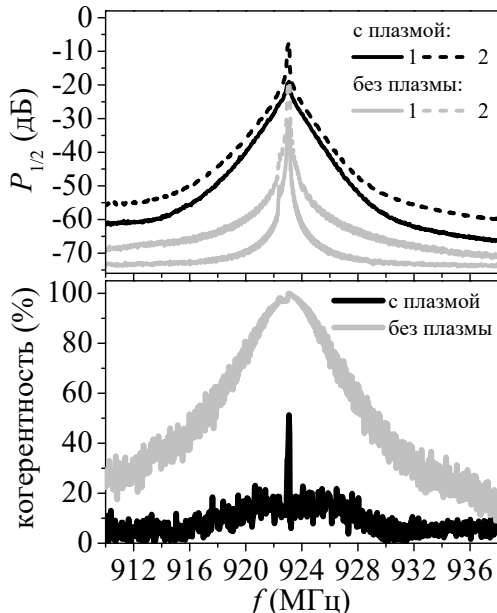


Рис. 1. Спектры зондов и когерентность между ними

Исследование корреляции сигналов двух зондов выявило (рисунок 1) падение уровня когерентности на частоте f_{RF} при отстройке всего лишь на 70 кГц с 50% до 16%. При этом без плазмы когерентность на частоте накачки достигала 100% и при отстройке на 1 МГц снижалась не более чем на 5%. Обнаруженное падение когерентности вблизи частоты накачки свидетельствует о том, что под воздействием НЧ-турбулентности меняется спектр НГ-волны при распространении вдоль тора.

Для сигнала каждого ВЧ-зонда исследовались спектры бикогерентности, выявившие наличие устойчивого фазового синхронизма между отдельными ВЧ- и НЧ-спутниками и линией на частоте f_{RF} . При этом доминирующими оказались процессы, в которых фаза НЧ-линий образуется как разность фаз ВЧ-накачки и ВЧ-спутников, а обратные процессы, в которых фазы НЧ- и ВЧ-спутников складываются, являются слабо выраженными. В частности, для зонда вблизи ВЧ-грилла уровень бикогерентности для трех-волнового взаимодействия типа $f_{RF} - f_{HF(i)} = f_{LF(i)}$ достигал 83%, для обратного процесса $f_{RF} - f_{LF(i)} = f_{HF(i)}$ наблюдался несколько меньший уровень 59%, а для взаимодействия вида $f_{HF(i)} + f_{LF(i)} = f_{RF}$ фиксировался незначительный уровень 12%. Для зонда в другом тороидальном сечении соответствующие значения бикогерентности составляли 36%, 27% и 7%. Бикогерентный анализ показал, что волна, соответствующая каждому из спутников в ВЧ-области, взаимодействуют только с одной волной в НЧ-области, а также с самой волной ВЧ-накачки. Иными словами, на спектре бикогерентности никак не выделяются области, которые бы указывали на взаимодействие соседних спутников в ВЧ-, либо НЧ-областях, т.е. не наблюдается перекачки энергии между рядом стоящими спутниками.

Зондовые измерения выполнены при поддержке Государственного задания ФТИ им. А.Ф. Иоффе по теме FFUG-2022-0002, а работа токамака ФТ-2 и ВЧ-комплекса – по теме FFUG-2024-0028.

^{*)} DOI – тезисы на английском