

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ВОЛН НИЖНЕГО ГИБРИДНОГО ДИАПАЗОНА В ТОКАМАКЕ ФТ-2 ^{*)}

Батырев Д.Ю., Алтухов А.Б., Гурченко А.Д., Гусаков Е.З., Дьяченко В.В.,
Есипов Л.А., Коновалов А.Н.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия, d.batyrev@mail.ioffe.ru

Проблемы с разработкой и применением систем генерации тока ниже-гибридными (НГ) волнами во многом связаны с ограниченностью диагностических методов для мониторинга параметров высокочастотных (ВЧ) волн. Трудности с их наблюдением связаны с относительно небольшим уровнем возникающих колебаний плотности $n/n_0 < 10^{-3}$, их пространственной локализацией и узким спектром по углам распространения. Ранее НГ-волны исследовались с помощью сложных методик с высокими требованиями доступа к портам токамака: коллективным лазерным рассеянием [1] и времяпролетным усиленным рассеянием [2]. На токамаке ФТ-2 разработана и применена новая микроволновая диагностика доплеровского обратного рассеяния (ОР) на НГ-волнах с частотой $f_{RF} = 922$ МГц. В примененной диагностике зондирование осуществляется со стороны слабого магнитного поля волнами обыкновенной поляризации Ка-диапазона ($f_i = 26-40$ ГГц), для которых в плазме существует поверхность отсечки, при этом для компенсации уменьшения сигнала рассеяния, по сравнению с традиционной флукутационной рефлектометрией, мощность зондирования увеличена до 50-100 Вт. В эксперименте тестировались как одночастотная гомодинная схема приема, перспективная для реализации корреляционных измерений, так и двухчастотная супергетеродинная, позволяющая детектировать сигнал рассеяния на произвольной промежуточной частоте, отличной от f_{RF} . При этом в каждой схеме приема существовала возможность селекции «красного» ($f_s = f_i - f_{RF}$) и «синего» ($f_s = f_i + f_{RF}$) ВЧ-сателлитов рассеяния, характеризующихся противоположными направлениями фазовой скорости НГ-волны. Для зондирования в сечении, тороидально сдвинутом от ВЧ-грилла на 90° , использовалась рупорная антенна, расположенная либо на экваторе, либо смещенная вверх или вниз в вертикальном направлении. Уровень ВЧ-мощности составлял 80 кВт.

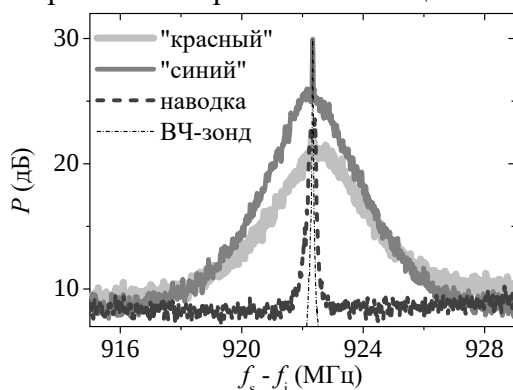


Рис. 1. Спектры диагностики ОР на НГ-волнах и ВЧ-зонда

Примеры спектров рассеяния для верхней антенны для каждого из ВЧ-сателлитов показаны на рисунке 1, вместе со спектром ВЧ-зонда и спектром сигнала диагностики в ситуации, когда ВЧ-мощность не поступает в плазму (ВЧ-наводка). Отличительной особенностью представленных спектров ВЧ-рассеяния является их значительная ширина на фоне узких спектральных линий ВЧ-зонда и ВЧ-наводки, свидетельствующая о многократном и эффективном рассеянии НГ-волны на флукутациях плотности. Различия в величине «синего» и «красного»

сателлитов были обнаружены только для верхней антенны, что может быть свидетельством ОР на первичной НГ-волне, поднявшейся от ВЧ-грилла вдоль силовой линии магнитного поля с углом наклона 1.7° , до диагностического сечения.

Измерения ОР 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.

Литература

- [1]. Surko C.M., Slusher R.E., Schuss J.J. et al. Phys. Rev. Lett. **43**, 1016 (1979).
- [2]. Bulyiginskiy D.G., Gurchenko A.D., Gusakov E.Z., et al., Phys. Plasmas **8**, 2224 (2001).

^{*)} DOI – тезисы на английском