

СПЕКТРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТОКАМАКЕ ТУМАН-3М^{*)}

Лебедев С.В., Абдуллина Г.И., Аскинази Л.Г., Белокуров А.А., Жубр Н.А.,
Корнев В.А., Разуменко Д.В., Тукачинский А.С.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, sergei.lebedev@mail.ioffe.ru

Значимость исследований ВЧ колебаний в токамаках ($\omega_{ci} < \omega < \omega_{ce}$) обусловлена фундаментальным интересом, а также возможностью использования волн этого диапазона для диагностики убегающих электронов (УЭ) и потенциально для предотвращения образования мощных пучков УЭ, опасных для вакуумных камер токамаков [1].

В омически нагреваемой плазме невысокой плотности в токамаке ТУМАН-3М помимо альфвеновских [2] и ионно-циклотронных колебаний [3,4] наблюдались три типа более высокочастотных магнитных колебаний. Диапазон частот колебаний, описываемых в данном сообщении, лежит между ионной и электронной циклотронными частотами: ω_{ci} и ω_{ce} , соответственно. Этот диапазон соответствует свистам (whistler'ам) [5]. Эксперименты по наблюдению этих колебаний проводились в водородной и дейтериевой плазме при $\bar{n}_e \leq 1,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, $B_t \leq 1,0 \text{ Тл}$, $I_p \leq 160 \text{ кА}$, $R_0 = 0,53 \text{ м}$ и $a_l = 0,22 \text{ м}$. Измерения осуществлялись с помощью массива из 16 магнитных зондов, расположенных эквидистантно по полоидальному обходу на внутренней стенке разрядной камеры. Оцифровка сигналов осуществлялась с использованием 12-разрядных АЦП с частотой 64, 250 или 3000 МГц.

Колебания первого типа имели длительность до 1 мс и наблюдались в диапазоне частот от 120 до 290 МГц, что соответствует $(10 - 20)\omega_{ci}$ и менее $\omega_{LH}/2$. Колебания проявлялись в виде нескольких линий спектра, разделенных промежутками от 18 до 60 МГц. Изменение частоты во времени позволило сделать вывод о свистовом характере колебаний [6].

Колебания второго типа возникали в виде коротких всплесков длительностью 10-20 мкс и характеризовались четкой гармонической структурой, содержащей до 7 гармоник. При этом частота основной гармоники 18-40 МГц значительно ниже, чем у колебаний первого типа, но выше ω_{ci} . При увеличении средней плотности от 0,87 до $1,18 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ наблюдалось расщепление гармоник на субгармоники с шагом $\sim 4,2 \text{ МГц}$. Число субгармоник достигало 6. Из-за малой продолжительности всплесков колебаний данного типа определить зависимость их частоты от B_t и \bar{n}_e оказалось невозможным [6].

Колебания третьего типа обнаружены в разрядах с меньшей плотностью, чем предыдущих случаях: $\bar{n}_e \approx 0,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Спектры сигналов, измерялись с помощью АЦП с частотой оцифровки до 3 ГГц. В этих спектрах вышеупомянутые колебания сосредоточены в диапазоне $f < 300 \text{ МГц}$. В более высокочастотной части спектров – $f > 300 \text{ МГц}$ – обнаружена «гребенка» пиков переменной амплитуды, расположенных с интервалом, нарастающим от 15 МГц при малых частотах до 26 МГц в области 1 ГГц. Эксперименты продемонстрировали корреляцию появления свистов с наличием ускоренных электронов. Для изучения связи этого излучения с УЭ планируются дополнительные эксперименты.

Работа поддерживалась гос.заданием ФТИ им. А.Ф. Иоффе: работа, диагностики токамака ТУМАН-3М – FFUG-2024-0028, создание ПО для обработки ВЧ спектров – FFUG-0021-0001.

Литература

- [1]. Hender T.C., et al, Nucl. Fusion 47(2007), S128–202.
- [2]. Lebedev S.V., et al, Proc. 43rd EPS Conf. on Plasma Phys., EPS-2016, v.40A, #P5.036
- [3]. Lebedev S.V., et al, EPJ Web Conf., 149(2017), 03010.
- [4]. Askinazi L.G., et al, Nucl. Fusion, 58(2018), 082003.
- [5]. Ахиезер А.И., «Электродинамика плазмы», 1974, Наука, М-ва
- [6]. Lebedev S.V., et al, Proc. 29th IAEA FEC2023 Conf.
<https://conferences.iaea.org/event/316/contributions/29281/attachments/15328/24690/Lebedev-EX-W.pdf>

^{*)} DOI – тезисы на английском