

## **Эволюция геодезических акустических мод в разрядах с напуском примесей в токамаке T-10**

В.Н. Зенин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

Геодезические акустические моды (ГАМ), будучи высокочастотной ветвью зональных потоков, интенсивно изучались как возможный механизм саморегуляции плазменной турбулентности [1]. Впервые они были представлены в [2] в рамках идеальной магнитогидродинамической (МГД) модели. ГАМы вызываются плазменными флуктуациями и, в свою очередь, влияют на турбулентность. ГАМ — это возмущение с  $m = n = 0$  для электростатического потенциала, которое сопряжено с возмущениями плотности  $m = 1, n = 0$  [3].

Изучение ГАМ на токамаке T-10 и их главных свойств описано в статье [4]. Недавние исследования также указывают на то, что ГАМ имеют свойства глобальных собственных мод, возбуждаемых на периферии [5]. Целью данной работы является продолжение этих исследований и изучение эволюции ГАМ в режимах с напуском примесей.

Одним из проявлений ГАМ являются колебания радиального электрического поля и, следовательно, потенциала плазмы. Эти колебания в горячей плазме были исследованы с помощью диагностики зондирования пучком тяжёлых ионов (ЗПТИ), уникального метода прямого измерения электрического потенциала.

В представляемой работе исследовано поведение ГАМ в специальных режимах с импульсным напуском примесей. Наличие примесей значительно меняет стандартное поведение ГАМ. В момент напуска амплитуда ГАМ значительно уменьшается (на 40-50 %, в отдельных экспериментах еще ниже, вплоть до уровня шумов). Уменьшение амплитуды происходит за очень короткое (до 5 мс) время. Частота ГАМ в момент напуска также уменьшается (примерно на 30%). Уменьшение частоты происходит за более длительное время, около 25 мс. В дальнейшем, после прекращения напуска примесей, амплитуда и частота ГАМ медленно восстанавливаются к новому стационарному уровню за время около 80 мс. В общих чертах этот процесс можно объяснить динамикой плотности и температуры плазмы. Существенно, что изменение электронной и ионной температур имеет те же временные масштабы, что и изменение частоты ГАМ. Этот процесс сопровождается кратковременным (5 мс) снижением уровня широкополосной

турбулентности, затем её увеличением (на время около 30 мс) и, наконец, возвращением к прежнему уровню.

Работа проведена за счёт Российского Научного Фонда, Проект 14-22-00193.

## Литература

1. *Fujisawa, A. et al.* Experimental progress on zonal flow physics in toroidal plasmas. *Nucl. Fusion* **47**, S718–S726 (2007).
2. *Winsor, N., Johnson, J. L. & Dawson, J. M.* Geodesic Acoustic Waves in Hydromagnetic Systems. *Phys. Fluids* **11**, 2448 (1968).
3. *Diamond, P. H., Itoh, S.-I., Itoh, K. & Hahm, T. S.* Zonal flows in plasma—a review. *Plasma Phys. Control. Fusion* **47**, R35–R161 (2005).
4. *Melnikov, A. V et al.* Investigation of geodesic acoustic mode oscillations in the T-10 tokamak. *Plasma Phys. Control. Fusion* **48**, S87–S110 (2006).
5. *Melnikov, A. V. et al.* The features of the global GAM in OH and ECRH plasmas in the T-10 tokamak. *Nucl. Fusion* **55**, 063001 (2015).