

## Изучение геодезических акустических мод и предварительные измерения турбулентного потока частиц на 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)

Физические механизмы турбулентного переноса энергии являются актуальной темой в термоядерных исследованиях. Теоретически было показано, что зональные потоки и геодезические акустические моды (ГАМ), их высокочастотная ветвь, являются возможным механизмом саморегуляции турбулентности [1]. Впервые ГАМ теоретически были предсказаны в работе [2], они в первую очередь проявляются в качестве электростатических колебаний потенциала плазмы, а также колебаний плотности. Изучение ГАМ на токамаке T-10 описано в работе [3]. Как было показано в [4], ГАМ, вероятно, возбуждается, на периферии.

ГАМ в горячей плазме были исследованы с помощью диагностики зондирования пучком тяжёлых ионов (НИВР), уникального метода прямого измерения электрического потенциала [5]. С помощью данной диагностики на токамаке T-10 можно одновременно измерять потенциал в нескольких близко расположенных элементах объёма плазмы. Т.о. можно измерить колебания электрического поля, что необходимо для дальнейшего исследования турбулентного  $E \times B$  потока.

В представляемой работе исследованы геодезические акустические моды и турбулентный поток частиц. Измерения проводились в следующем диапазоне параметров T-10: ток плазмы от 120 кА до 220 кА, тороидальное поле от 1.6 Тл до 2.4 Тл, среднечордовая плотность плазмы от  $0.8 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$  до  $4.4 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . НИВР измерения многоцелевым энергетическим анализатором позволили оценить полоидальное электрическое поле  $E$  и радиальный электростатический турбулентный поток частиц, возбуждаемый  $E \times B$  дрейфом. Предварительные эксперименты показали, что ГАМ пик виден на спектре колебаний потенциала, но практически не виден на спектре колебаний  $E$ . В режимах с низкой плотностью такой пик может наблюдаться и на электрическом поле. В качестве критерия существования использовалось превышение ГАМ над шумом. Доверительный интервал строился при доверительной вероятности 0.95.

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. 2007. V. 47. P. 718–726.
2. *Winsor, N., Johnson, J. L. & Dawson, J. M.* Geodesic Acoustic Waves in Hydromagnetic Systems // Phys. Fluids. 1968. V. 11. P. 2448.
3. *Melnikov, A. V et al.* Investigation of geodesic acoustic mode oscillations in the T-10 tokamak // Plasma Phys. Control. Fusion. 2006. V. 48. P. 87–110.
4. *Melnikov, A. V. et al.* The features of the global GAM in OH and ECRH plasmas in the T-10 tokamak // Nucl. Fusion. 2015. V. 55. P. 063001.
5. *Dnestrovskij, Y. N. et al.* Development of Heavy Ion Beam Probe Diagnostics // IEEE Trans. Plasma Sci. 1994. V. 22. P. 310–331.