

АНАЛИЗ ПИЛООБРАЗНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ НЕЦЕНТРАЛЬНОМ ЭЦРН В ТОКАМАКЕ Т-15МД^{*)}

Неудачин С.В., Дрозд А.С., Рогозин К.А., Сергеев Д.С., Сушков А.В., Асадулин Г.М., Уласевич Д.Л.

НИЦ «Курчатовский Институт», РФ, 123182 Москва, пл. Курчатова 1,
neudachin_SV@nrcki.ru, nrcki@nrcki.ru

Анализ переноса плотности при пилообразных колебаниях впервые в мире был исследован лишь в одном омическом режиме Т-10 [1] ($I_p = 200$ кА, $B_z = 1.5$ Т, $n_e(0) = 2 \cdot 10^{19}/\text{м}^3$) и подъем плотности между колебаниями был объяснен наличием неоклассической скорости пинчевания частиц $V_{p \text{ нео}}$. Моделирование пилообразных колебаний плотности в омических режимах токамаков ТМ-4 и ТУМАН-3 [2] позволило доказать наличие именно неоклассической зависимости $V_{p \text{ нео}} \sim E_z/H_\theta$ внутри поверхности $q=1$, где E_z – величина тороидального электрического поля, а H_θ – величина полоидального магнитного поля. Данные выводы были расширены в докладе [3] где было показано, что при центральном и нецентральном ЭЦРН и ЭЦ-генерации тока ($P_{\text{ЭЦРН}} < 0.7$ МВт), скорость пинчевания частиц V_p в центральной части шнура близка к неоклассической. Так, например, при нецентральной ЭЦ-генерации тока ($P_{\text{ЭЦРН}} = 0.7$ МВт) с почти подавленными пилообразными колебаниями периодом около 20 мс, амплитуда колебаний центральной хордовой плотности составляла около 1.3%. Отметим, что при $q=1$ величина H_θ прямо пропорциональна величине H_z . А вот при $P_{\text{ЭЦРН}} > \sim 1.5$ МВт, профили n_e становятся немонотонными при $r/a < 0.5$ и наблюдаются пилообразные колебания плотности обратной фазы (рост в центре при спаде T_e , спад при $r/a = \pm 0.4$). Анализ показывает наличие направленной наружу скорости пинчевания $V_{p \text{ нео}} \approx 0.3$ м/с.

СВЧ-интерферометр с длиной волны зондирующего излучения 0,935 мм используется для измерения средней плотности плазмы токамака Т-15МД [4-5]. Зондирование проводится через центр вакуумной камеры по вертикальной хорде. Эксперименты, представленные в данном докладе, были проведены в осеннюю кампанию 2024 г при $H_z = 1.5$ Т и токах плазмы 400-500 кА. Гиротрон с $P_{\text{ЭЦРН}} \approx 1$ МВт создавал нецентральный нагрев со стороны сильного магнитного поля (см. детали в [6]). Пилообразные колебания зачастую возникали в конце импульса гиротрона. В первую очередь, пилообразные колебания и их радиус переворота фазы детектировались многоканальными измерениями мягкого рентгеновского излучения [7]. Пилообразные колебания n_e чувствительны к нестационару по плотности, и могут быть и вовсе не видны даже при умеренном ее росте, что ограничивает число пригодных для анализа импульсов. Например, в имп. 3089, при периоде около 15 мс, амплитуда колебаний центральной хордовой плотности составляла около 1.2%. Предварительные результаты проводимого в данный момент анализа показывают достаточность неоклассической скорости пинчевания частиц $V_{p \text{ нео}}$ для описания подъема плотности между колебаниями.

Данная работа выполнена в рамках Государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

- [1]. Васин Н.Л., Горбунов Е.П., Неудачин С.В., Переверзев Г.В. 1982 Физика Плазмы, с. 244
- [2]. Днестровский Ю.Н., Неудачин С.В., Переверзев Г.В. Физика Плазмы 1984. Т.10. С. 236
- [3]. S.V. Neudatchin, D.A. Shelukhin, A.A. Borshegovskii, S.G. Maltzev, T.B. Myalton, N.A. Mustafin, D.S. Sergeev 2014 Proc. 25th FEC (St. Petersburg, 2014) EX/P1-43
- [4]. Drozd A. S., Sergeev D.S. et al. // Plasma Physics Reports. 2024. Vol. 50, № 5, P. 568–572.
- [5]. Drozd A.S., Sergeev D.S. // Rev. Sci. Instrum. 2022. Vol. 93, № 6, P. 063501.
- [6]. Кирнева Н.А. и др, 52 Международная Звенигородская конф. по физике плазмы и УТС
- [7]. Рогозин К.А. и др. 51 Международная Звенигородская Конф. по УТС: . 2024. с. 103

^{*)} DOI – тезисы на английском