

ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОМ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ РАДИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПОТЕНЦИАЛА ПЛАЗМЫ В ТОКАМАКЕ ТУМАН-3М^{*)}

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

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
belokurov@mail.ioffe.ru*

Нейтральная инжекция является эффективным методом нагрева плазмы, генерации вращения и доставки топлива в центральную область плазменного шнура. Ко-инжекция (по току плазмы) более эффективна с точки зрения захвата быстрых частиц по сравнению с контр-инжекцией (против направления тока плазмы), однако влияние ко-инжекции на удержание плазмы определяется совместным эффектом от генерации положительного E_r за счет вращения плазмы и генерации отрицательного E_r за счет потерь быстрых частиц.

Как было показано ранее [1], в случае с низкой концентрацией плазмы (среднехордовая концентрация $n < 1,2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$) ко-инжекция оказывается малоэффективной с точки зрения нагрева плазмы, генерации вращения и инициирования L-N перехода, т.к. потери, в первую очередь на пролет, велики. Это было заметно по отсутствию эволюции потенциала, измеренного с помощью диагностики пучком тяжелых ионов, при нейтральной инжекции [1], в то время как при ко-инжекции можно ожидать как положительного прироста потенциала, связанного с генерацией вращения плазмы удерживаемыми быстрыми частицами, так и отрицательного, связанного с потерями быстрых ионов с первой орбиты.

В сценариях с ко-инжекцией при среднехордовой концентрации $n > 2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ (в момент начала нейтральной инжекции) были проведены измерения эволюции потенциала плазмы с помощью диагностики пучком тяжелых ионов (ДПТИ). Пучок нейтральных атомов инжектировался в плазму в разрядах с различной концентрацией $(2 - 3) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Измерения показывают, что при большей концентрации плазмы после нейтральной инжекции происходит эволюция потенциала плазмы в сторону более положительных значений, с изменением в диапазоне 100 – 300 В. Это говорит о том, что в плазме появляется дополнительное тороидальное вращение, связанное с быстрыми ионами.

С помощью ДПТИ были проведены прямые измерения радиального электрического поля в омических разрядах токамака ТУМАН-3М в двухточечной схеме зондирования. В данной схеме возможно измерять потенциал плазмы в двух соседних точках и таким образом локально измерять радиальное электрическое поле с пространственным разрешением, равным расстоянию между объемами вторичной ионизации (для характерных разрядов токамака ТУМАН-3М – 1 – 3 мм). В омических разрядах токамака ТУМАН-3М в водороде и дейтерии с близкими параметрами плазмы наблюдалась схожая эволюция радиального электрического поля: значения $E_r = -4 - -8 \text{ кВ/м}$ на малом радиусе $r = 15 \text{ см}$ близки к оценкам для локального неоклассического E_r в омическом разряде в стационарной фазе. Увеличение концентрации плазмы при газонапуске приводило к эволюции E_r в сторону более отрицательных значений, что согласуется с представлением о зависимости неоклассического радиального электрического поля от градиента концентрации.

Работа стандартных диагностик токамака ТУМАН-3М осуществляется при поддержке гос. контракта ФТИ им. А.Ф. Иоффе 0040-2019-0023. Эксперименты с нейтральной инжекцией осуществлены при поддержке гос. контракта ФТИ им. А.Ф. Иоффе 0034-2021-0001. Исследования с помощью ДПТИ на токамаке ТУМАН-3М обеспечиваются РНФ (проект 22-12-00062).

Литература

[1]. Белокуров А.А. и др. // Письма в ЖТФ, 2022, Т. 48, Вып. 24.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)