Динамика удержания плазмы и некоторые свойства самосогласованности плазмы в режиме ЭЦР нагрева в стеллараторе Л-2М [[1]](#footnote-1)\*)

Мещеряков А.И., Гришина И.А.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва, Россия, [meshch@fpl.gpi.ru](mailto:meshch@fpl.gpi.ru)

Исследована динамика удержания плазмы в стеллараторе Л-2М в режиме ЭЦР нагрева на стадиях начального нагрева плазмы, ее квазистационарного удержания и остывания после выключения СВЧ излучения. При этом также рассмотрены свойства самосогласованности плазмы на различных стадиях ЭЦР нагрева. В процессе ЭЦР нагрева было выделено четыре фазы, в каждой из которых удержание плазмы имеет свои особенности.

В первой фазе происходит нагрев плазмы, ее энергосодержание растет, при этом край плазмы остается холодным. Фактически, плазма не контактирует со стенкой (detachment regime), что обеспечивает низкий уровень теплопроводностных и диффузионных потерь. Измерения показали, что в первой фазе ЭЦР нагрева в отсутствие взаимодействия со стенкой профили давления электронной компоненты плазмы не являются самосогласованными.

Далее происходит быстрый переход (менее чем за 400 мкс) в квазистационарную фазу разряда (фаза 2). В фазе 2 в плазме открывается дополнительный канал потерь, связанный с появлением интенсивного потока частиц и энергии на стенку (теплопроводность и диффузия). В результате включаются механизмы самосогласования плазмы, и она стремится к установлению канонических профилей давления [1]. Однако внешнее воздействие ЭЦР нагрева препятствует установлению в точности канонических профилей давления. Поэтому в фазе 2 профили давления близки к каноническим (но не совпадают с ними) [2].

После выключения импульса СВЧ нагрева плазма остывает при постоянной плотности. При остывании плазмы можно выделить еще две фазы. В фазе 3 механизмы самосогласования продолжают действовать, и, в отсутствие внешних воздействий на плазму, она релаксирует к каноническим профилям давления электронной компоненты. Из экспериментальных данных, полученных на токамаках, известно, что канонические профили устанавливаются за времена меньшие десятой доли энергетических времен жизни (Δt < 0,1 τE) [3]. А падение энергосодержания в фазе 3 происходит за времена порядка энергетического времени жизни. Поэтому при остывании в фазе 3 можно считать, что плазма проходит через последовательность состояний, характеризуемых каноническими профилями давления. При этом мощность энергетических потерь минимальна для данной установки [3]. На основании экспериментальных данных для стелларатора Л-2М получена следующая зависимость минимальной мощности потерь в фазе 3 от энергосодержания и плотности: Ploss(W) ~W3⋅ne−2. Отметим, что полученная экспериментально зависимость Ploss(W, ne) для фазы 3 является фундаментальной для стелларатора Л-2М, поскольку она характеризует удержание плазмы с помощью магнитной системы данной установки.

Когда край плазмы остывает, третья фаза плавно переходит в четвертую, когда периферия плазмы охлаждается и плазма вновь перестает контактировать со стенкой. Вследствие этого потери за счет теплопроводности значительно уменьшаются. В фазе 4 радиационные потери становятся основными.

Литература

1. Ю.Н. Днестровский. Самоорганизация горячей плазмы, М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013.
2. A.I. Meshcheryakov, I.A. Grishina, I.Yu. Vafin, Bull. Lebedev. Phys. Inst. **48**, 101 (2021).
3. K.A. Razumova, V.F. Andreev, L.G. Eliseev, et al., Nucl. Fusion **51**, 083024 (2011).

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Mu/en/AF-Meshcheryakov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)