

ОБ УЧЕТЕ ВЫТЯНУТОСТИ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ИНКРЕМЕНТА VDE В МОДЕЛИ ТОКАМАКА С НЕКОНФОКАЛЬНОЙ СТЕНКОЙ ^{*)}

^{1,2}Чукашев Н.В., ^{1,3}Пустовитов В.Д.

¹НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, e-mail: chukashev_nv@nrcki.ru

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Плазма токамака с вытянутым сечением неустойчива относительно движений по вертикали (Vertical Displacement Events, VDE). Известно [1], что наведенные токи в стенке вакуумной камеры могут существенно замедлять VDE, так что процесс происходит с характерным временем порядка резистивного затухания токов. Математический подход к учету токов в стенке при описании эволюции плазмы был развит в работах [2, 3] и включает интегральную формулировку уравнения диффузии магнитного потока через тонкую резистивную оболочку. Решение этого уравнения методом возмущений по малому вертикальному смещению ξ с исходным равновесием Гайевского [4] дает растущую моду $\xi = \xi_0 \exp(t / \tau_{\text{VDE}})$ с характерным временем

$$\tau_{\text{VDE}} = \tau_w \oint_w c_b e^{2\mu_b} \text{sh}(2\mu_b - \mu_w) \sin \theta_w \frac{G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_w)}{R_w b_w z} dl_w, \quad (1)$$

где τ_w – резистивное время стенки с большим и малым радиусами R_w и b_w , c_b – фокальное расстояние эллипса $\mu = \mu_b$, соответствующего границе плазмы в эллиптических координатах $r = R_w - c_b \text{sh} \mu \cos \theta$ и $z = c_b \text{ch} \mu \sin \theta$, G – функция Грина оператора Грэда-Шаффранова, а dl_w – элемент длины полоидального контура стенки, по которому проводится интегрирование. Индекс w означает переменную интегрирования.

Ранее время VDE вычислялось для случая стенки с круглым сечением [5] в качестве демонстрации возможности аналитического вычисления интеграла в (1). Однако вакуумные камеры современных токамаков обладают существенной вытянутостью $K_w > 1$, поэтому ее учет необходим при оценке τ_{VDE} . В этой работе развит подход, позволяющий рассчитать τ_{VDE} по формуле (1) для стенки с эллиптическим сечением, в частности, преобразование функции Грина G в комплексных переменных и вычисление интеграла по эллиптической границе с помощью вычетов.

Литература

- [1]. Hender T.C. et al, Nucl. Fusion, 2007, 47, S128
- [2]. Pustovitov V.D., Phys. Plasmas, 2018, 25, 062510
- [3]. Пустовитов В.Д., Физика плазмы, 2019, Т. 45, С. 1088
- [4]. Gajewski R., Phys. Fluids, 1972, 15, 70
- [5]. Чукашев Н.В., Пустовитов В.Д., в сб. LI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу ICRAF-2024, (Звенигород, 18 – 22 марта 2024 года), с. 65

^{*)} DOI – тезисы на английском