

СКЕЙЛИНГ ПОДОБИЯ ТОКАМАКОВ КАДОМЦЕВА ДЛЯ ГИБРИДНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ^{*)}

^{1,2}Будаев В.П.

¹НИИЦ «Курчатовский институт», Budaev_VP@nrcki.ru,

²НИУ «МЭИ»

Для разработки проекта гибридного термоядерного реактора (ГТР) необходимо использовать обоснованные скейлинги (закономерности) на основе анализа многочисленных экспериментов на токамаках с различными параметрами. Наиболее общий фундаментальный подход рассмотрения токамака как сложной системы был предложен в классических работах Бориса Борисовича Кадомцева [1,2], рассмотревшего подобие токамаков на основе анализа размерностей (аналог симметричного подхода) и свойств самоорганизации в сложной системе с громадным числом степеней свободы, какой является плазма в токамаке. При анализе размерностей в [1] Б.Б. Кадомцев рассмотрел идеализированную ситуацию чистой (без примесей) плазмы в токамаке, с одиннадцатью основными величинами: ($a, R, B_z, B_p, c, e, m, M, T_e, T_i, n$). На основе такого анализа для параметров центральной плазмы токамака предложен скейлинг подобия токамаков, S_K , характеризующий зависимость от аспектного отношения A , большого радиуса R , тороидального магнитного поля B_z на оси, атомной массы ионов M семейства плазменных систем, эквивалентных с точки зрения удержания энергии, см.[3,4]:

$$S_K = RB^{4/5} A^{-3/2} M^{-3/5} . \quad (1)$$

Поскольку продолжают обсуждаться преимущества токамаков с различными значениями A при одинаковом магнитном поле и токе, возникает вопрос о выборе параметров гибридного термоядерного реактора. В [4,5] предложен модифицированный скейлинг с учетом характеристик термоядерного выхода – усиления мощности Q для токамаков-реакторов. Вместе с тем, такая модификация не учла существенные процессы, определяющие устойчивость и эффективность, в том числе, при стационарной эксплуатации, такой сложной системы как токамак: взаимодействие плазма-стенка и фундаментальные свойства сильной турбулентности плазмы, влияющей на динамику системы, выявленные в последние годы по результатам масштабных экспериментальных исследований [6]. Для дальнейшего развития подхода, рассматривающего подобие токамаков, следует учесть параметры взаимодействия плазма-стенка и турбулентности плазмы. В настоящей работе предложено рассмотреть модифицированный скейлинг Кадомцева S_{K-P} для реактора-токамака:

$$S_{K-P} = RB^x A^y Q^z , \quad (2)$$

где показатели x, y, z будут функциями от параметров взаимодействия плазма-стенка и параметров сильной турбулентности плазмы, таких как скейлинги спектров турбулентности и аномального переноса плазмы (супердиффузии), скейлинги эрозии обращенных к плазме материалов камеры, влияющей на поступление примесей в разряд, характеристики дуговых процессов на стенке, протекание токов из плазмы на поверхность и неамбиполярный перенос. В этом числе, следует сохранить учёт эффектов нарушения квазинейтральности в приповерхностном слое на границе разряда, т.е. в проблеме подобия токамаков сохранить рассмотрение числа частиц N_D в сфере с дебаевским радиусом.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИИЦ «Курчатовский институт».

Литература

- [1]. Кадомцев Б.Б., Физика плазмы, 1975, 1, 4, 531-535.
- [2]. Tokamak plasma: a complex physical system. В.В. Kadomtsev, Taylor & Francis, 1992.
- [3]. Romanelli M. et al., Plasma Phys. Control. Fusion, 2021, 63, 125004.
- [4]. Orsitto F.P., ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2021, 44, 2, 78.
- [5]. Orsitto F. P. et al., 47th EPS Conf. Plasma Phys., June 21-25, 2021, P2.1002.
- [6]. Будаев В.П. и др., УФН, 2011, 181, 905–952.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)