Тепловая устойчивость термоядерной плазмы при различных скейлингах удержания энергии

А.С. Светлов, А.Ю. Чирков

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, [chirkov@bmstu.ru](mailto:chirkov@bmstu.ru)

При экстраполяции результатов, полученных в магнитных ловушках, на режимы подобных систем с интенсивной термоядерной реакцией необходимо учитывать различие в характере отклика термоядерного энерговыделения и внешнего нагрева на вариации параметров плазмы. В настоящей работе рассматривается устойчивость уравнений, описывающих энергии плазмы и количества частиц. Анализируется две динамические модели — с одной и двумя степенями свободы.

В первом случае предполагается возможность отклонения от номинального значения какой-либо одной из следующих независимых величин: радиус плазменного шнура *a*, плотность (концентрация) плазмы *n* и температура *T*. Выбор такого набора величин объясняется тем, что именно эти три параметра определяют энергию плазмы. Отметим, что время удержания энергии τ*E* зависит от этих параметров. Зависимость времени удержания (скейлинг) может носить неустойчивый характер, при котором вариации энергии, вызванные вариациями какого-либо из параметров *a*, *n*, *T*, неограниченно возрастают [1].

Во втором случае рассматривались связанные изменения концентрации и температуры. Для этого совместно решались уравнения, описывающие динамику изменения указанных величин. Конфигурация и размеры плазмы считались при этом постоянными. Время удержания частиц, принималось пропорциональным (в несколько раз больше) времени удержания энергии.

При анализе рассматривался скейлинг энергии в виде степенного закона. В результате были определены критические (максимально допустимые для устойчивости) показатели степеней в зависимости от рабочей температуры. Показано существенное различие условий устойчивости для режимов с нагревом термоядерными альфа-частицами и без термоядерной реакции. Область устойчивости существенно расширяется при снижении коэффициента усиления мощности в плазме *Q*. Это обстоятельство важно для таких систем, как источники термоядерных нейтронов с *Q* < 1, концепции которых рассматриваются как на основе токамаков, так и альтернативных систем [2 – 4].

Были проанализированы некоторые известные законы удержания. Так, скейлинг ITER (IPB98y2) отвечает условиям устойчивости. При классическом и гиро-бомовском удержании найденные условия могут не выполняться в термоядерных режимах с усилением *Q* ~ 1 и выше.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, госзадание №13.2573.2014/K.

Литература

1. Светлов А.С. // Мол. научно-технич. вестник. 2014. № 9. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/731386.html>
2. Чирков А.Ю. // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4, С. 1050.
3. Chirkov A.Yu. // J. Fusion Energy. 2015. V. 34. P. 528.
4. Chirkov A.Yu. // Nucl. Fusion. 2015. V. 55. 113027.