Моделирование турбулентной конвекции плазмы в токамаках в режимах с немонотонным профилем q

А.Ю. Днестровский, В.П. Пастухов, Д.В. Смирнов, Н.В. Чудин

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, [Smirnov\_DV@nrcki.ru](mailto:Smirnov_DV@nrcki.ru)

Проведено численное моделирование режимов токамаков с немонотонным профилем q. Получены профили давления, температуры и плотности плазмы, а также данные по эволюции уровней флуктуаций основных параметров плазмы. Моделирование проводилось с помощью численных кодов CONTRA-C, основанного на простой цилиндрической модели адиабатически-редуцированной магнитной гидродинамики для токамака с большим аспектным отношением и круглым сечением, и модифицированного кода ASTRA, который учитывает тороидальную геометрию и форму полоидального сечения, со специально разработанным турбулентным блоком CONTRA-A, рассчитывающим турбулентно-конвективные потоки тепла и частиц. Расчёты начинались со стадии омического нагрева, далее включался дополнительный нагрев и плазма релаксировала к квазистационарному состоянию. Моделирование проводилось для времён, существенно превышавших энергетическое время жизни в конечном состоянии и, следовательно, достаточных для выхода основных параметров плазмы на квазистационарный уровень. Основное внимание уделено режимам, в которых формируется приосевая область с обратным магнитным широм. В наших предшествующих работах было показано, что профиль давления поддерживается конвекцией вблизи турбулентно-релаксированного (ТР) состояния. В режимах с немонотонным профилем *q* ТР состояние соответствует немонотонному (в области обратного шира) профилю давления, однако спадающий профиль давления должен быть локально устойчивым в области отрицательного магнитного шира. Другой важной особенностью таких режимов является возможность возникновения внутреннего транспортного барьера, связанного с удалённостью друг от друга рациональных поверхностей с относительно низкими m и n и локализацией крупномасштабных мод вблизи соответствующих поверхностей. В разрыве между этими рациональными поверхностями амплитуда этих мод может обращаться в нуль. Данное обстоятельство в наших расчётах имитируется путём введения дополнительного граничного условия — обращения в нуль крупномасштабных флуктуаций (с относительно низкими значениями тороидального волнового числа *n* < *nmax*) на радиусе, соответствующем минимуму *q*. Моделирование показало, что введение такого граничного условия приводит к подавлению турбулентной конвекции в локально-устойчивой области обратного магнитного шира и качественному изменению конвективного переноса в центральной области. В результате происходит пикирование профиля температуры в приосевой области. Профиль плотности, в отличие от профиля температуры, остаётся относительно плоским.