Аналитические и трехмерные расчеты МГД процессов в стеллараторах

С.В. Щепетов

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, shch@fpl.gpi.ru

Аналитические расчеты применительно к тороидальной плазме в настоящее время, как правило, используются в двух случаях. Во-первых, они необходимы для тестирования трехмерных численных процедур. Во-вторых, разумно проведенные аналитические расчеты позволяют существенно сократить время поиска искомого эффекта при помощи трехмерных численных расчетов.

Работа состоит из двух частей. В первой части представлены аналитические и численные [1, 2] расчеты пилинг-мод в Мерсье-устойчивой/неустойчивой плазме для систем с магнитным бугром. Аналитически доказано (и подтверждено численными расчетами), что в Мерсье-устойчивой плазме с конечным градиентом давления внутренние пилинг-моды устойчивы. Внешние моды (то есть моды, не имеющие рациональной магнитной поверхности внутри плазмы) могут быть неустойчивы. Показано, что внешние пилинг-моды имеют порог по градиенту давления, ниже которого они устойчивы. Продемонстрировано, что аналитические и численные работы находятся в хорошем соответствии с имеющимися экспериментальными данными. Аналитически рассмотрен вопрос о стабилизации высоких мод за счет эффектов конечного ларморовского радиуса ионов.

Вторая часть работы представляет краткий обзор современного состояния трехмерных нелинейных расчетов в рамках МГД (магнитогидродинамических) моделей. Эта довольно сложная область науки в настоящее время достаточно интенсивно развивается. В настоящее время принято считать, что для описания горячей плазмы минимальной необходимой моделью является редуцированная МГД модель при учете дрейфовых эффектов. На таком принципе устроен код JOREK, предназначенный для анализа плазмы в токамаках [3]. Код BOUT анализирует систему двухжидкостных МГД уравнений Брагинского [4] и с успехом использовался, например, для моделирования плазмы в токамаке DIII-D [5]. Появился и трехмерный нелинейный численный код MIPS [6] для стеллараторов, использующий модель двухжидкостной магнитной гидродинамики. Проводится сравнение результатов расчетов для токамаков и стеллараторов. Отмечено, что конечное турбулентное состояние, получаемое в рамках трехмерных численных кодов, оказывается электромагнитным, даже в том случае, если исходное состояние неустойчиво по отношению к электростатическим модам.

Литература

1. Михайлов М.И., Щепетов С.В., Древлак М., Нюренберг К., Нюренберг Ю. 2011. Физика плазмы, **40**. С.887.
2. Михайлов М.И., Щепетов С.В., Нюренберг К., Нюренберг Ю. 2015. Физика плазмы, **41**. № 12 (в печати).
3. Huysmans G. and Czarny O. 2007 Nuclear Fusion **47** 659.
4. Xu X. Q. and Cohen R. H. 1998 Contrib. Plasma Phys. **36** 158.
5. Cohen R. H. et al. 2013 Physics of Plasmas **20** 055906.
6. Todo Y. et al. 2010 Plasma and Fusion Research **5** S2062.