Геодезические акустические моды в тороидально вращающейся плазме токамака

Сорокина Е.А.1,2, Ильгисонис В.И.1,2, Лахин В.П.1,2, Коновальцева Л.В.1, Марусов Н.А.1,2,3, Смоляков А.И.1,2,4

1Российский университет дружбы народов, Москва, Россия,
 sorokina.ekaterina@gmail.com
2Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия
3Московский физико-технический институт, Москва, Россия
4Университет Саскачевана, Саскатун, Канада

Геодезические акустические моды (ГАМ) – низкочастотные преимущественно электростатические колебания плазмы, широко наблюдаемые в современных тороидальных системах магнитного удержания плазмы, таких как токамаки и стеллараторы [1]. Имеющиеся экспериментальные данные [2] показывают, что частота колебаний плазмы, ассоциируемых с ГАМ, не зависит от малого радиуса плазмы. Это обстоятельство свидетельствует о том, что наблюдаемые колебания являются глобальной собственной модой. Имеющаяся на данный момент теория глобальных ГАМ [3] предсказывает существование собственной моды в плазме токамака, с частотой ГАМ, соответствующей максимальной температуре плазмы по радиусу шнура. Однако это не согласуется с имеющимися экспериментальными данными, согласно которым частота наблюдаемых колебаний соответствует частоте ГАМ при температуре, характерной для периферии плазменного шнура. Известно, что существенное влияние на спектр ГАМ оказывает тороидальное вращение плазмы [4]. В рамках идеальной МГД модели с уравнением состояния в виде адиабаты и в предположении равновесия, при котором величина $p/ρ^{α}$ постоянна на магнитной поверхности токамака ($p$ – давление плазмы, $ρ$ – ее массовая плотность, $α$ – функция метки магнитной поверхности), сплошной спектр ГАМ при наличии тороидального вращения плазмы [5] описывается выражением:

 $ω^{2}=\frac{ω\_{s}^{2}}{2}\left\{2+\frac{1}{q^{2}}+4M^{2}+\frac{γM^{4}}{2α}\pm \left[\left(2+\frac{1}{q^{2}}+4M^{2}+\frac{γM^{4}}{2α}\right)^{2}-\frac{γ-α}{α}\frac{2M^{4}}{q^{2}}\right]^{1/2}\right\}$. (1)

Здесь $ω\_{s}=c\_{s}/R\_{0}, c\_{s}$ – скорость звука, $R\_{0}$ – большой радиус токамака, $q$ – коэффициент запаса устойчивости, $M=ΩR\_{0}/c\_{s}$ – звуковое число Маха, $Ω$ – частота тороидального вращения плазмы, $γ$ – показатель адиабаты. В отсутствие вращения высокочастотная ветвь колебаний, описываемых уравнением (1), переходит в стандартную ГАМ, а низкочастотная ветвь – в зональное течение с нулевой частотой. В настоящей работе исследована возможность реализации глобальной ГАМ в токамаке с тороидальным вращением плазмы. Получены интегральные условия существования собственной моды. Численно найдены собственные функции и вычислены собственные частоты колебаний. Показано, что наличие равновесного тороидального вращения облегчает выполнение условий, обеспечивающих существование глобальной моды, и, таким образом, расширяет возможности существования глобальных ГАМ.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №17–12-01470).

Литература.

1. Fujisawa A., Nucl. Fusion, 2009, 49, 013001.
2. Melnikov A. et. al., Nucl. Fusion, 2015, 55, 063001.
3. Ильгисонис В.И., Коновальцева Л.В., Лахин В.П., Сорокина Е.А., Физика плазмы, 2014, 40, 955.
4. Lakhin V.P., Ilgisonis V.I., Smolyakov A.I., Phys. Lett. A, 2010, 374, 4872
5. Havekort J.W., de Blank H.J., Koren B., J. Comp. Phys., 2012, 231, 981