Колебательная зеркальная неустойчивость в плазме с плещущимися ионами

Д.И. Сковородин, А.Д. Беклемишев

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

В экспериментах на установке ГДЛ наблюдаются продольные колебания плазмы на частоте порядка средней баунс-частоты быстрых ионов [1]. Колебания регистрируются по диамагнитным сигналам и имеют нулевую азимутальную моду и, по-видимому, скоррелированны по радиусу. Колебания выглядят как продольная стоячая звуковая волна, отражающаяся от пробок.

Хорошо известно, что продольный ионный звук существует только в плазме с горячими электронами [2]. В рассматриваемых режимах ГДЛ температура электронов ~200 эВ, а средняя энергия быстрых ионов ~10 КэВ. Теория однородной максвелловской плазмы предсказывает, что ионный звук существует, если Te>3,5 Ti. В плазме ГДЛ амбиполярное электрическое поле, по-видимому, не достаточно для того, чтобы синхронизовать движение ионов в волне. Однако в этих экспериментах есть несколько факторов, которые могут сильно повлиять на дисперсию низкочастотных волн, в частности:

* высокое давление ионной популяции (в ГДЛ beta~0,5);
* существенно неравновесная функция распределения плещущихся ионов.

В данной работе исследуется влияние неравновесности функции распределения ионов и эффектов конечного β на дисперсию медленного магнитного звука в рамках кинетической теории. Рассматривается модель плазмы с плещущимися ионами в ловушке с плоским дном и точечными пробками. Показано, что в пределе Te→0 при достаточно большом β существует решение дисперсионного уравнения, соответствующее колебательной неустойчивости волны со звуковой частотой. Синхронизация движения ионов происходит за счёт возмущения магнитного поля как в зеркальной неустойчивости. Неустойчивость развивается из-за резонансной раскачки плещущимися ионами. Порог развития неустойчивости сильно зависит от деталей функции распределения плещущихся ионов вблизи энергии инжекции. При дальнейшем увеличении β неустойчивость становится апериодической (зеркальная неустойчивость). Показано, что в плазме с пучками критерий устойчивости в форме Веденова [3] является необходимым, но не достаточным.

Литература.

1. Skovorodin D. I., Zaytsev K. V. and Beklemishev A. D., Phys. Plasmas, 20, 102123 (2013).
2. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А., Основы электродинамики плазмы. М: Высшая школа, 1988.
3. Веденов А.А., Велихов Е.П., Сагдеев Р.З., УФН, 1961, 73, 701–766.