

СТАБИЛИЗАЦИЯ АНТИСИММЕТРИЧНОЙ МОДЫ ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ В ОГРЕ-2 С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

В.А.Жильцов, В.Х.Лизменштейн, Д.А.Панов

На установке Огре-2 – ловушке с инжекцией быстрых атомов [1] в простом пробочном поле плотность плазмы ограничивается желобковой неустойчивостью на уровне 10^7 см^{-3} . В зависимости от магнитного поля при этой плотности может развиваться или симметричная (потенциал возмущения $\phi(z) = \phi(-z)$, ось z направлена вдоль оси установки) или антисимметричная ($\phi(z) = -\phi(-z)$) мода циклотронной неустойчивости с азимутальным волновым числом $m = 1$.

В работе [2] сообщалось о подавлении с помощью обратных связей простейшей моды циклотронной неустойчивости – симметричной. В данной работе сообщается о возможности подавления моды с более сложной структурой волны – антисимметричной (рис. 1). Эта мода циклотронной неустойчивости ведет

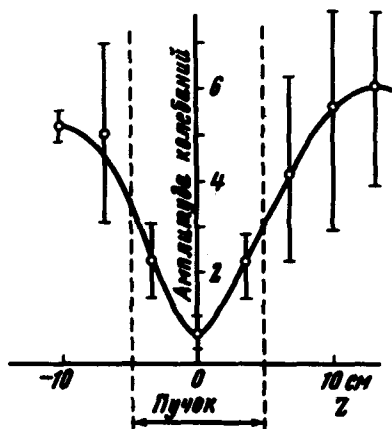


Рис. 1. Распределение амплитуды колебаний вдоль оси установки. Указан разброс амплитуды за время одного импульса инжекции

к уширению плазмы вдоль оси установки. Два фольговых детектора [1] регистрировали поток быстрых нейтралов перезарядки. Первый детектор находился в центральной плоскости ловушки, а второй – на расстоянии $z = 18 \text{ см}$ от нее. В отсутствие антисимметричной моды циклотронной неустойчивости размер плазмы вдоль оси z не превышал 20 см и второй детектор регистрировал поток нейтралов в 100 раз меньше, чем первый. При наличии колебаний антисимметричной моды второй детектор регистрировал поток в (5 – 10) раз меньше, чем первый.

Согласно развитой в [2] теории, при наложении граничного условия на потенциал колебаний циклотронной неустойчивости

$$\phi_{\text{гр}} = \delta \phi_{\text{пл}},$$

где $\phi_{\text{гр}}$ — потенциал на некоторой поверхности, окружающей плазму, $\phi_{\text{пл}}$ — потенциал колебаний на поверхности плазмы, δ — коэффициент, вообще говоря, комплексный и зависящий от частоты и волнового вектора, возможна стабилизация неустойчивости при подходящем выборе δ . Максимальное подавление неустойчивости будет при $|\delta| \approx 1$ и $\arg \delta = -\pi/2$. Физически подавление циклотронной неустойчивости означает, что вносимый системой обратной связи декремент затухания больше, чем инкремент развития неустойчивости.

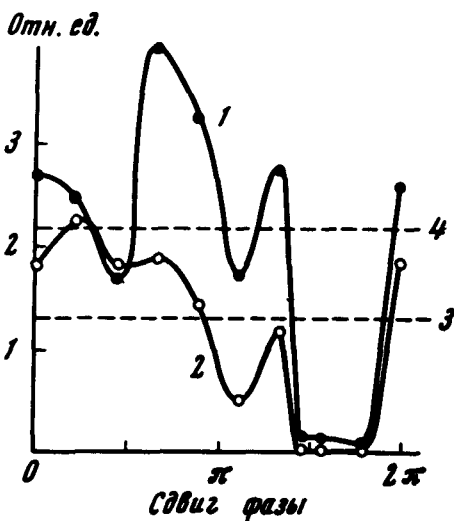


Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний (кривая 1) и потока нейтралов на второй фольговый детектор (кривая 2) от сдвига фазы в цепи обратной связи. Пунктиром указаны: 3 уровень колебаний и 4 поток нейтралов перезарядки на второй фольговый детектор соответственно, без обратной связи. Начало отсчета фазы выбрано произвольно. Частота колебаний $1^{\circ} 11\mu$

Система обратной связи включала в себя электростатическую антенну, смещенную в сторону от средней плотности ловушки на расстояние, равное половине радиуса плазмы и расположенную на поверхности вакуумной камеры. Сигнал с антенны подавался на полосовой усилитель с регулируемой фазой колебаний и коэффициентом усиления. Сигнал с усилителя через парафазные симметричные выходы подавался на два электрода, расположенные вблизи границы плазмы симметрично относительно средней плоскости ловушки. Суммарная длина электродов в направлении оси ловушки в два раза превышала размер плазмы в том же направлении. По азимуту электроды занимали угол 30° . Смещение антенны в азимутальном направлении относительно электродов компенсировалось изменением задержки в цепи обратной связи, с помощью которой регулировалась фаза колебаний потенциала электродов. За исключением этого пункта взаимное азимутальное расположение антенны и электродов на результаты экспериментов не влияло.

На рис. 2 приведены зависимости амплитуды циклотронных колебаний и потока нейтралов на второй фольговый детектор от сдвига фазы в цепи обратной связи. Начало отсчета фазы выбрано произвольно. Видно, что в некотором интервале фаз амплитуда колебаний и поток быстрых нейтралов на второй фольговый датчик значительно уменьшались. Небольшой остаточный уровень коле-

баний представлял собой колебания симметричной моды, которая данной системой не подавлялась. Оценка показывает, что наибольшее подавление колебаний происходит при $|\delta| \sim 1$ и фазе $\sim -\pi/2$.

Стабилизация неустойчивости наблюдалась в сравнительно узком интервале фаз $\sim 60^\circ$. Отметим, что в отличие от результатов работы [2], где подавлялась симметричная мода циклотронной неустойчивости, диапазон коэффициентов усиления, при которых существует подавление антисимметричной моды, невелик и не превышает 10 дб. Не исключено, что лишь в наблюдавшемся интервале фаз выполнялось условие, состоящее в том, что вносимый системой обратной связи декремент превышал инкремент неустойчивости. Если это справедливо, то увеличение доли, окружающей плазму поверхности, занятой электродами (за счет увеличения числа электродов и соответственно числа петель обратных связей) позволило бы расширить интервал фаз, где наблюдается стабилизация.

Поступила в редакцию
9 января 1970 г.

Литература

- [1] Артеменков и др. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (Proc. II Intern. Conf. on Plasma Physics, Culham, 1965) 2, 45, Vienna.
 - [2] В.В.Арсенин, В.А.Жильцов, В.Х.Лихтенштейн, В.А.Чуянов. Письма в ЖЭТФ, 8, 69, 1968.
-