

ПОДАВЛЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПУЧКОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Е.А.Корнилов, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, О.Ф.Ковпик

Ранее нами было показано [1], что при развитии пучковой неустойчивости помимо возбуждения высокочастотных колебаний (1000 + 6000 Мгц) возбуждаются также низкочастотные колебания (10 кгц + 30 Мгц). При этом появляются интенсивные ионные токи, сравнимые по величине с электронным током первичного пучка. Энергия ионов достигает нескольких сот электроновольт. По-видимому, ответственными за ускорение и "нагрев" ионов являются низкочастотные колебания. С другой стороны, эти колебания, возникающие при развитии пучковой неустойчивости, приводят к аномальной диффузии плазмы. Поэтому выяснение причин возникновения низкочастотных колебаний и изыскание способов их срыва представляет интерес. Необходимо также ответить на вопрос о том, возбуждаются ли эти колебания пучком непосредственно или они порождаются высокочастотными колебаниями.

В работе излагаются результаты экспериментальных исследований, из которых следует возможность срыва низкочастотных колебаний с помощью модуляции пучка на высокой частоте, $\omega_M = 2\omega_{He}$. Исследованная нами зависимость между низкочастотными и высокочастотными спектрами указывают на то, что низкочастотные колебания порождаются высокочастотными.

Эксперименты проводились на установке, описанной ранее [1,2]. Электронный пучок с током до 100 ма и энергией частиц 2 + 5 кэв инжектируется в камеру взаимодействия, находящуюся в продольном магнитном поле напряженностью до 2000 э. На входе системы помещен

резонатор, настроенный на частоту 3000 Мгц, с помощью которого пучок может быть промодулирован. Глубина модуляции α могла быть доведена до 0,15. Условия эксперимента выбраны такими, что частота модуляции ω_m равна удвоенной циклотронной частоте для электронов. Это условие соответствует первой зоне возбуждения неустойчивости при наличии внешней модуляции [3].

Колебания принимались на зонды, помещенные в плазму. Спектр высокочастотных колебаний исследовался волномерами и анализатором ИВ-46, низкочастотные – анализатором С-4-8.

Основные результаты эксперимента представлены на рис. I и 2.

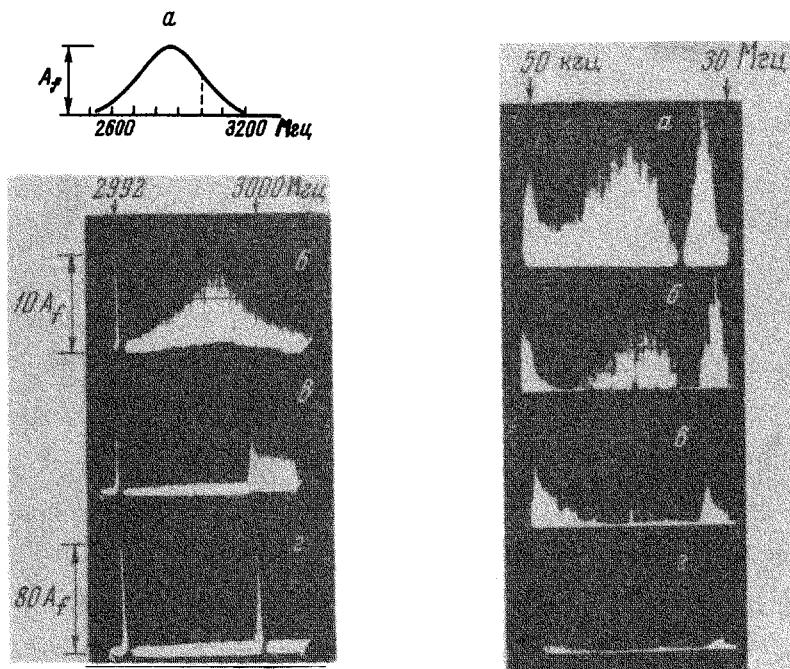


Рис. 1. Спектр высокочастотных колебаний в зависимости от глубины модуляции электронного пучка (f – 2992 Мгц – метка начала развертки, полная развертка 10 Мгц)

На рис. I, а изображен примерный спектр высокочастотных колебаний при отсутствии модуляции пучка. Максимум амплитуды лежит в районе частоты 2900 Мгц. Протяженность спектра ~12%. Пунктирной

Рис. 2. Спектр низкочастотных колебаний в зависимости от глубины модуляции электронного пучка

линией отмечена частота, на которой производилась модуляция пучка. Осцилограммы б, в, г рис. I и 2 - спектры высокочастотных и низкочастотных колебаний в зависимости от глубины модуляции. Полная развертка осцилограмм спектра высокочастотных колебаний соответствует 10 Мгц, низкочастотных колебаний - от 50 кгц до 30 Мгц.

Уже при относительно малой величине $\alpha \approx 0,04 \div 0,06$ в спектре высокочастотных колебаний наблюдается подавление частоты с максимальной амплитудой и выделением новой частоты, смещенной относительно частоты модуляции на величину 30 \div 40 Мгц. (Протяженность спектра того же порядка, что и прежде.) В низкочастотном спектре при этом наблюдается уменьшение амплитуды колебаний (рис. 2, б).

Дальнейшее увеличение глубины модуляции приводит к сужению спектра высокочастотных колебаний и подавлению низкочастотных (рис. I, б, $\alpha \approx 0,09$; рис. I, в, г и рис. 2, в, г - $\alpha \approx 0,11$ и 0,15 соответственно).

Интересно отметить, что ширина высокочастотного спектра $\Delta\omega_{B_4}$ примерно совпадает с областью частот, занимаемой низкочастотным спектром. Одно из объяснений этого факта может заключаться в том, что низкочастотные колебания образуются в результате нелинейного взаимодействия высокочастотных колебаний и поэтому наибольшее значение $\omega_{\text{макс нч}} \approx \omega_B$.

Интересен и тот факт, что с увеличением глубины модуляции происходит не только сужение высокочастотного спектра, но и смещение частоты, соответствующей максимуму амплитуды колебаний, к модулирующей частоте. При $\alpha \approx 0,15$ максимумы колебаний совпадают. При этом, как видно из рис. 2, г, спектр в районе 50 \div 30 Мгц подавлен полностью. В области 0 \div 50 кгц амплитуда падает в 2 \div 3 раза.

Одновременно с изменением спектра колебаний при модуляции наблюдается уменьшение ионного тока на 30% (в отдельных случаях до 40%). Наблюдается уменьшение диаметра столба плазмы при срыве низкочастотных колебаний. Это уменьшение диаметра, по-видимому, объясняется уменьшением аномальной диффузии, вызванной низкочастотными колебаниями.

Полученные экспериментальные данные указывают на то, что путем предварительной модуляции пучка можно подавить не только высокочастотные колебания в широком интервале частот, но и низкочастотные, возбуждаемые пучковой неустойчивостью [4,5]. Показано, что низкочастотные колебания порождаются высокочастотными.

Для окончательного ответа на вопрос о том, возникают ли низкочастотные колебания в результате нелинейного взаимодействия высокочастотных волн или вследствие статических потенциальных ям, обусловленных высокочастотными полями, требуются дополнительные исследования.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
28 февраля 1966 г.

Литература

- [1] Е.А.Корнилов, О.Ф.Ковпик, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин. Сб. "Взаимодействие пучков заряженных частиц с плазмой", стр. I8. Киев, 1965.
- [2] Е.А.Корнилов, О.Ф.Ковпик, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, И.Ф.Харченко. Ж.техн. физики, 35, I378, 1965.
- [3] И.Ф.Харченко, Я.Б.Файнберг, Е.А.Корнилов, Р.М.Николаев, Е.И.Луценко, Н.С. Педенко. Ж.техн. физики, 31, 761, 1961.
- [4] Я.Б.Файнберг, В.Д.Шапиро. Атомная энергия, 19, 336, 1965.
- [5] А.К.Березин, Г.П.Березина, Л.И.Болотин, Ю.М.Ляпкало, Я.Б.Файнберг. Атомная энергия, 18, 315, 1965.