

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДРЕЙФОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ В СТЕЛЛАРАТОРЕ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ВБЛИЗИ ЧАСТОТЫ НИЖНЕГИБРИДНОГО РЕЗОНАНСА

*В.С. Войцены, А.Ю. Волошко, С.И. Солодовченко,
А.Ф. Штань*

В стеллараторе "Сатурн" наблюдалась стабилизация дрейфовой неустойчивости плазмы СВЧ разряда в водороде возбуждаемым извне переменным электрическим полем вблизи частоты НГР.

Исследования стабилизирующего действия переменных электрических и магнитных полей на плазменные неустойчивости стали в последнее время традиционными в физике плазмы [1]. Особый интерес представляет частотный диапазон НГР, являющийся перспективным с точки зрения нагрева плазмы. Ниже излагаются предварительные результаты, полученные на стеллараторе "Сатурн" по стабилизации дрейфовой неустойчивости плазмы СВЧ разряда переменным электрическим полем вблизи частоты НГР.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Плазма СВЧ разряда в водороде создавалась стационарным магнетроном ($\lambda \approx 3$ см) мощностью $\lesssim 15$ Вт (6). Типичные параметры плазмы: $n_e = 10^{10} \div 10^{11}$ см $^{-3}$, $T_e = 5 \div 10$ эВ, $T_i < 1$ эВ. Магнитное поле $H_0 = 3,1$ кэ. Величина плотности изменялась за счет изменения вводимой в плазму СВЧ мощности. Средняя плотность плазмы определялась по смещению резонансной частоты вакуумной камеры (3), возбуждаемой 4-мм клистроном. Для возбуждения в плазме ВЧ волн применялась система, аналогичная использованной ранее [2] (опыты по ВЧ нагреву). Такая система обеспечивала возбуждение, главным образом, медленных волн, [3], для которых $E_z \gg E_\phi$. Колебания вблизи частоты НГР, которая в наших условиях ($(\omega_{pe}/\omega_{He})^2 \ll 1$) была близка к ω_{pi} , возбуждались стационарным ВЧ генератором (1) мощностью несколько ватт на частоте 32 Мгц. ВЧ колебания от генератора через согласующее устройство подавались на возбуждающий электрод (2), представляющий собой металлическую плас-

тину шириной 2 см (вдоль магнитного поля) и длиной 8 см, и расположенный на границе плазмы (его местоположение отмечено стрелкой на вставке рис. 1). Амплитуда ВЧ полей в плазме измерялась коаксиальным зондом (4). НЧ колебания плотности плазмы и электрического поля, обусловленные дрейфовой неустойчивостью, измерялись комбинированным ленгмюровским зондом (5), расположенным на градиенте плотности ($r = 4$ см). Характеристики этих колебаний для аргоновой плазмы подробно описаны в работе [4].

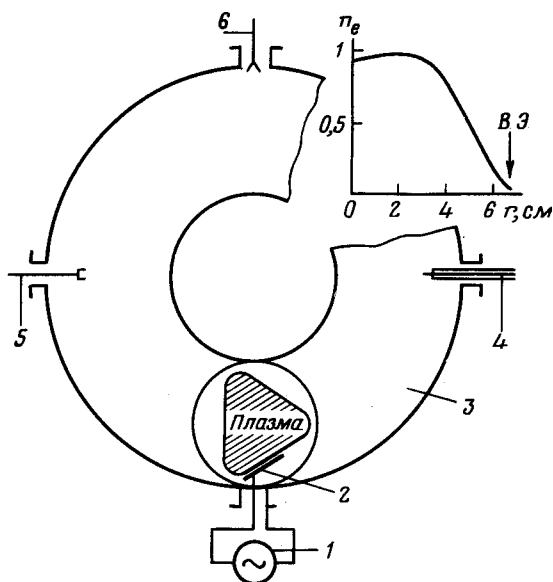


Рис. 1. Схема эксперимента

Было обнаружено, что без ВЧ генератора с ростом n_e монотонно растут уровни НЧ колебаний плотности и электрического поля, и связанный с ними турбулентный поток плазмы. При включенном ВЧ генераторе наблюдается более медленный рост НЧ колебаний. На рис. 2 показаны осциллограммы огибающей ВЧ сигнала с коаксиального зонда и амплитуды НЧ колебаний. Горизонтальная координата соответствует монотонному увеличению плотности плазмы. Видно, что уровень НЧ колебаний с ростом n_e увеличивается, а при достижении некоторого значения плотности происходит его резонансное уменьшение. В этот момент наблюдается также уменьшение амплитуды ВЧ сигнала в плазме (верхняя осциллограмма), что, по-видимому, указывает на эффективное поглощение ВЧ мощности вблизи этого значения плотности плазмы.

Результаты более тщательных измерений при дискретном изменении величины n_e представлены на рис. 2, б и в. Оказалось, что резкое уменьшение уровня НЧ колебаний электрического поля и турбулентного потока (рис. 2, в) происходит, когда в области градиента плотности $n_e \approx 2,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, т. е. когда $\omega_{pi} / 2\pi$ равна частоте ВЧ генератора ($f = 32$ МГц). Добавка аргона к водороду приводила к росту величины n_e , для которой наблюдалось резонансное уменьшение амплитуды дрейфовых колебаний, пропорционально отношению n_{Ar} / n_{H_2} — в соответствии со сдвигом частоты НГР.

Влияние амплитуды ВЧ напряжения, прикладываемого к возбуждающему элементу, на уровень дрейфовых колебаний, показано на рис. 3. По оси ординат здесь отложено отношение уровня НЧ колебаний, полученных с ВЧ ($A_{ВЧ}$) и без ВЧ (A_0) напряжения, для двух значений плотности плазмы: 1) $n_e = n_{НГР}$ и 2) $n_e > n_{НГР}$. В обоих случаях наблюдалась пороговая зависимость изменения уровня НЧ колебаний от ВЧ напряжения. Однако, в случае резонанса (1) уменьшение амплитуды колебаний начиналось при меньшем ВЧ напряжении.

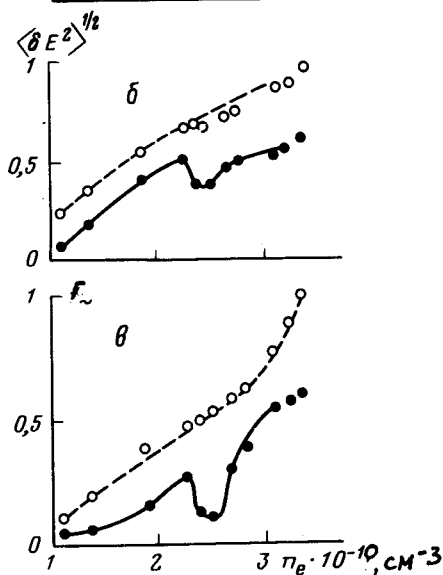
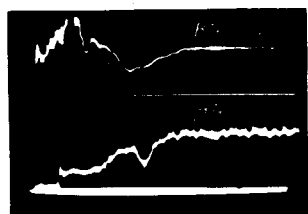


Рис.2. Зависимость от плотности плазмы амплитуды ВЧ сигнала и НЧ колебаний плотности плазмы $\langle \tilde{n}_i^2 \rangle^{1/2}$ (а), флуктуаций электрического поля (б) и турбулентного потока (в): о — без ВЧ поля, ● — $U_{ВЧ} = 110 \text{ В}$, как и для осциллограмм

Таким образом, экспериментально обнаружена значительная ($A_{ВЧ}/A_0 \approx 0,3$) стабилизация дрейфовых колебаний ВЧ полем, возбуждаемым в плазме на частоте, близкой к частоте НГР. В качестве возможных механизмов, ответственных за наблюдаемый эффект, можно указать на увеличение эффективной частоты соударений ионов с ВЧ полем ($\nu_i \sim \omega_{pi} \sqrt{W/nT}$) в случае его стохатизации [5] или на стабилизирующее действие большой E_z — составляющей [6, 7] ВЧ поля медленной волны в области НГР. Пороговая зависимость уровня колебаний от ВЧ напряжения указывает также на возможность параметрических эффектов, приводящих к стабилизации дрейфовой неустойчивости [8].

Следует отметить, что в описываемых экспериментах в некоторых случаях наблюдалась раскачка НЧ колебаний при наложении ВЧ поля. Поэтому дальнейшей задачей начатых исследований является определение механизмов и условий, приводящих как к стабилизации, так и к возбуждению НЧ колебаний.

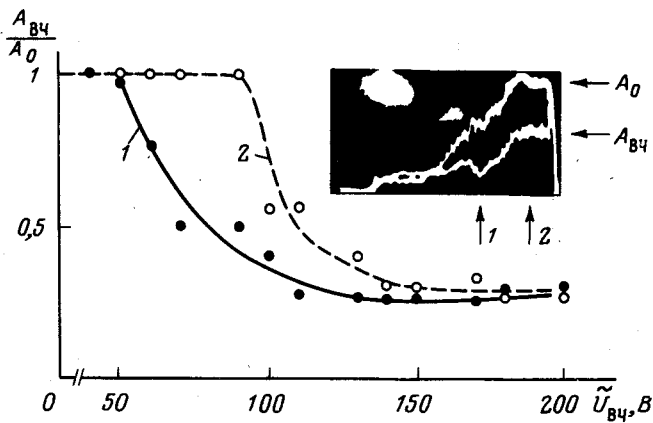


Рис.3. Влияние ВЧ поля на амплитуду флуктуаций плотности плазмы для двух значений n_e : 1 - $n_e = n_{нгр}$; 2 - $n_e > n_{нгр}$

В заключение авторы выражают свою признательность А.В.Лонгинову, С.С.Моисееву, Я.Б.Файнбергу и Е.А.Корнилову за полезные дискуссии при обсуждении результатов настоящей работы.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
20 июля 1978 г.

Литература

- [1] А.А.Иванов. Физика сильнонеравновесной плазмы. М., Атомиздат, 1977, гл. 3.
- [2] А.Ю.Волошко, В.С.Войценья, А.В.Лонгинов, Г.А.Мирошниченко, Г.Я.Нижник, С.И.Солодовченко. Письма в ЖЭТФ, 16, 80, 1972.
- [3] А.В.Лонгинов, Г.А.Мирошниченко. ЖТФ, 44, 820, 1975.
- [4] В.С.Войценья и др. Ядерный синтез, 17, 651, 1977.
- [5] О.Ф.Ковпик, Е.А.Корнилов, С.С.Моисеев. ЖТФ, 46, 1557, 1976.
- [6] А.Н.Измайллов и др. УФЖ, 13, 1211, 1968.
- [7] Р.А.Демирханов, Г.Л.Хорасанов, И.К.Сидорова, IAEA, Vienna 1969, 2, стр. 449.
- [8] А.К.Sundaram, Р.К.Kaw. Ядерный синтез, 13, 901, 1973.