

## ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ВЯЗКОСТИ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ШИРОМ ДРЕЙФОВО-ДИССИПАТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

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

В тороидальном трехзаходном стеллараторе исследовано влияние массы иона на стабилизацию широм дрейфовых колебаний.

Обнаружена зависящая от  $M_i$  пороговая величина шира, начиная с которой наблюдается сильное подавление колебаний. Показано, что во всем диапазоне изменения шира уровень дрейфовых колебаний тем меньше, чем выше масса иона.

Стабилизация дрейфовых неустойчивостей плазмы в магнитных ловушках широм или ионной вязкостью изучалась теоретически [1 – 7] и

экспериментально [7 – 10, обзор 11]. Цель настоящей работы заключается в экспериментальной проверке взаимной связи обоих этих стабилизирующих факторов. Ниже приводятся некоторые результаты по влиянию ионной вязкости на стабилизацию широм дрефово-диссипативной неустойчивости плазмы стационарного СВЧ разряда в различных газах: гелии, неоне, аргоне и ксеноне. В отличие от экспериментов [8 – 9], где ионная вязкость определялась давлением рабочего газа, т.е. частотой столкновений ион-нейтрал, для изменения ионной вязкости была использована зависимость ее от массы иона рабочего газа.

Измерения проводились в тороидальном трехзаходном стеллараторе "Сатурн". Вводимая в плазму СВЧ мощность (на частоте электронно-циклотронного резонанса) составляла  $\sim 10 \text{ вт}$ . Плотность плазмы и электронная температура измерялись с помощью микроволновой техники и ленгмюровских зондов, характеристики НЧ колебаний – с помощью ленгмюровских зондов, расположенных снаружи в центральной плоскости тора, и корреляционного приемника. Условия экспериментов:  $H_0 = 3,1 \text{ кэ}$ , угол вращательного преобразования на крайней магнитной поверхности  $t_0 \lesssim 0,5$ , средний радиус этой поверхности  $\bar{r}_0 \lesssim 6,3 \text{ см}$ , средний радиус плазмы  $\bar{r} \lesssim 5,5 \text{ см}$ , большой радиус тора  $R = 36 \text{ см}$ , размер градиента плотности  $a = \left( \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dr} \right)^{-1} \lesssim 1,5 \text{ см}$ ,  $n_e \lesssim 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ ,  $T_e \lesssim 8 \text{ эв}$ ,

$T_i \ll T_e$ . Величина шира в области максимального градиента плотнос-

ти плазмы  $\theta = \frac{a \bar{r}_0}{R} \left( \frac{dt}{dr} \right)_{\bar{r}_0}$  изменялась от  $\sim 0,01$  до  $\sim 0,1$ . Особое

внимание обращалось на то, чтобы характеристики плазмы для всех газов оставались примерно одинаковыми (при фиксированных параметрах магнитной конфигурации). Изучение волновой структуры и частоты наблюдаемых флуктуаций ( $\omega \approx 3 \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$ ;  $k_{\perp 1} \approx 0,25 \text{ см}^{-1}$ ;  $k_{\perp 2} \approx 0,04 \text{ см}^{-1}$ ;  $k_{\parallel} \approx 4 \text{ см}^{-1}$ ) показало, что колебания плазмы в области градиента плотности обусловлены длинноволновой дрейфово-диссипативной неустойчивостью [10].

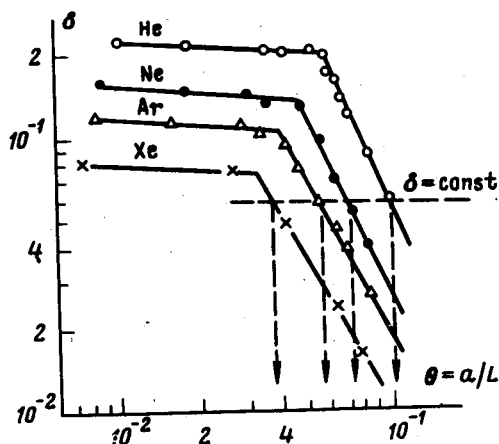


Рис. 1. Влияние шира ( $\theta$ ) на уровень дрейфовых колебаний ( $\delta$ ) для разных газов

Исследовалась зависимость уровня дрейфовых колебаний, усредненных по частотному спектру,  $\delta \equiv \langle \tilde{n}_e^2 \rangle^{1/2} / \bar{n}_e$ , от параметров плазмы и величины шира. На рис. 1 для различных газов представлено изменение уровня колебаний при увеличении шира. Как видно из графиков этого рисунка, для каждого газа имеется свое пороговое значение шира,  $\theta_{кр}$ , так что при  $\theta < \theta_{кр}$  изменение шира практически не влияет на уровень колебаний. В этом режиме разряда (с малым широм) основным стабилизирующим фактором, определяющим уровень дрейфовых колебаний является ионная вязкость.

В области  $\theta > \theta_{кр}$  наблюдается резкое уменьшение низкочастотных флуктуаций ( $\delta \sim \theta^{-3/2}$ ), указывающее на то, что здесь основным стабилизирующим фактором является перекрещенность силовых линий. Сама величина  $\theta_{кр}$  уменьшается по мере увеличения массы иона примерно как  $M_i^{-0.25}$  (верхняя кривая на рис. 2).

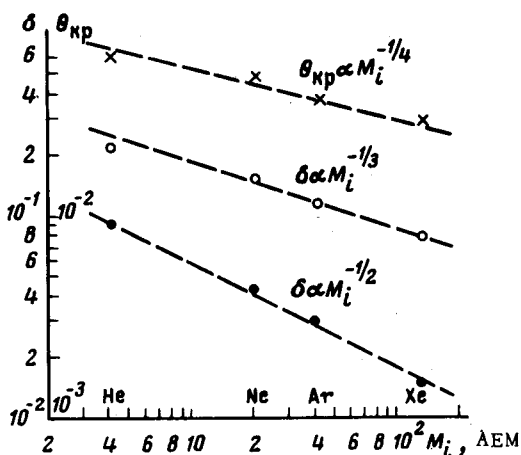


Рис. 2. Зависимость от массы ионов критического значения шира ( $\theta_{кр}$ ) и амплитуды дрейфовых флуктуаций ( $\delta$ ): — x —  $\theta_{кр}$ ; — o —  $\delta$  (при  $\theta = 0,015$ ); — • —  $\delta$  (при  $\theta = 0,08$ )

При фиксированных значениях шира в областях  $\theta < \theta_{кр}$  и  $\theta > \theta_{кр}$  амплитуда флуктуаций изменяется как  $M_i^{-0.3}$  и  $M_i^{-0.5}$ , соответственно. Для иллюстрации на рис. 2 приведены данные, относящиеся к двум значениям шира:  $\theta = 0,015 < \theta_{кр}$  (светлые точки) и  $\theta = 0,08 > \theta_{кр}$  (темные точки).

Из данных, приведенных на рис. 1, можно также получить, что в области  $\theta > \theta_{кр}$  зависимость от массы иона величины шира, при которой в различных газах устанавливается какой-либо определенный уровень флуктуаций, имеет вид:  $\theta_{\delta} \sim M_i^{-0.4}$ .

Таким образом, приведенные выше результаты указывают на существенную роль ионной вязкости, как в режиме с малым широм (область  $\theta < \theta_{кр}$ ), так и в режиме с большим широм (область  $\theta > \theta_{кр}$ ). Различное соотношение между стабилизирующими факторами (шир и ионная

вязкость) в обоих режимах проявляется в различных зависимостях установившегося уровня колебаний от массы иона ( $\delta \sim M_i^{-0.3}$  и  $\delta \sim M_i^{-0.5}$ ).

Наблюдаемые зависимости ( $\theta_{кр}$  от  $M_i$ ,  $\delta$  от  $M_i$  при  $\theta = \text{const}$  и  $\theta$  от  $M_i$  при  $\delta = \text{const}$ ) находятся в достаточно хорошем качественном и количественном соответствии с результатами теоретических исследований. В частности, для больших значений шира из работы [4] можно получить (с учетом того, что связь между установившимся уровнем колебаний и линейным инкрементом нарастания имеет вид  $\delta \sim \sqrt{\gamma}$  [12]) следующие соотношения:  $\delta \sim M_i^{-0.5}$  ( $\theta = \text{const}$ ) и  $\theta \sim M_i^{-0.5}$  (в случае  $\delta = \text{const}$ ), с которыми хорошо согласуются данные настоящих экспериментов.

Физико-технический институт  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
18 июля 1977 г.

### Литература

- [1] Г.М.Заславский, С.С.Моисеев, ЖТФ, **34**, 410, 1964.
- [2] А.Б.Михайловский, О.П.Погуце, ДАН СССР, **156**, 64, 1964.
- [3] N.A. Krall, M.N. Rosenbluth. Phys. Fluids, **8**, 1488, 1965.
- [4] В.Сорпи, M.N. Rosenbluth. IAEA, Vienna, VI, 617, 1966.
- [5] А.А.Рухадзе, В.П.Силин, УФН, **96**, 87, 1968.
- [6] G.Laval, R.Pellat. Proceedings of Conf. on Phys. of Quiescent Plasmas, Frascati, part 1, 111, 1967.
- [7] H.W. Hendel, T.K. Chu, P.A. Politzer. Phys. Fluids, **11**, 2426, 1968.
- [8] Э.Н.Бочаров, В.И.Волосов, А.В.Комин, В.М.Панасюк, Ю.Н.Юдин, IAEA, Vienna, v3, 3, 1971.
- [9] М.С.Бережецкий, С.Е.Гребенщиков, И.А.Косый, И.С.Сбитникова, И.С.Шпигель. ЖЭТФ, **62**, 957, 1972.
- [10] В.С.Войценя, А.Ю.Волошко, В.М.Залкинд, С.И.Солодовченко, В.П.Тарасенко, А.Ф.Штань, Ядерный синтез, **17**, 4, 1977.
- [11] В.С.Войценя, Е.Д.Волков, А.Ю.Волошко, В.А.Рудаков, Препринт ХФТИ, 76 – 34.
- [12] В.Е.Keen, M.W.Alcock, Phys. Lett, **55A**, 25, 1975.