

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып.10, стр.596 – 599

20 мая 1972 г.

**НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
ПРИ РАСПАДЕ ПЛАЗМЫ В СТЕЛЛАТОРЕ Л-1**

М. С. Бережецкий, И. С. Сбитникова, И. С. Шпигель

Ранее [1] на двухзаходном стеллараторе Л-1 [2] (большой радиус $R = 60$ см, малый $a = 5$ см, напряженность магнитного поля $H_0 = 2-10$ кэ) исследовался режим удержания плазмы с квазипостоянным распреде-

лением плотности и, соответственно, с постоянной скоростью распада по всему ее объему. При этом среднее время жизни плазмы, определенное СВЧ методом при резонансном возбуждении всей камеры совпадало с "локальным" временем жизни, определенным из зондовых измерений [3]. Однако, в отдельных случаях наблюдались "сбросы" плотности. В описываемом режиме работы сбросы появляются регулярно; исследование пространственно-временных характеристик плазмы в одном импульсе работы установки помогло детально выяснить характер распада плазмы.

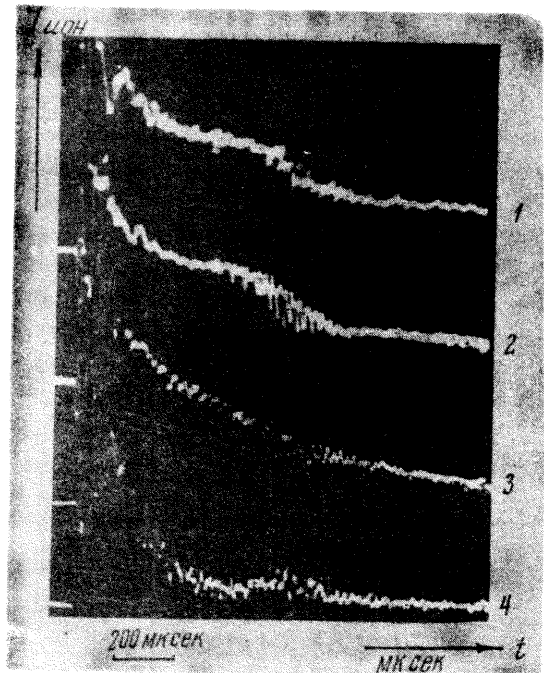


Рис. 1. Оциллограмма:
 1. — $r = 5$ мм, 2. — $r = 11$ мм,
 3. — $r = 17$ мм, 4. — $r = 29$ мм

Измерения проводились одиночными ленгмюровскими зондами, установленными на различных азимутах, и системой из пяти одиночных зондов, расположенных по радиусу на расстоянии 6 мм один от другого. Исследовалась распадающаяся плазма, созданная методом внешней инжекции [1]. Начальная плотность плазмы $n_0 = 10^{10} \text{ см}^{-3}$ была на порядок меньше обычной [1], несколько ниже было и импульсное давление нейтрального газа ($p_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ тор}$). В указанном режиме работы в центральной области плазмы были обнаружены относительно быстрые "сбросы" плотности, до 30–50% значения n в этой области. На рис. 1 приведены типичные оциллограммы хода плотности от времени, снятые в одном импульсе работы установки для радиусов 5, 11, 17 и 29 мм, полученные с помощью системы зондов, работающих в режиме насыщения ионного тока ($N_0 = 4,5 \text{ кэ}$, угол вращательного преобразования $i = 4\pi/3$). Из рис. 1 (2) видно, что в некоторый момент времени скорость распада плотности возрастает и одновременно увеличивается амплитуда флуктуаций плотности. Когда скорость распада и амплитуда флуктуаций достигают максимума, этот процесс захватывает и внутреннюю область шнура (рис. 1 (1)). В это же время на радиусах 22 – 29 мм плотность плазмы возрастает (рис. 1 (4)). Во

внешней области ($r = 17$ рис. 1 (3)), где колебания существуют все время, в момент сброса их амплитуда увеличивается. Измерения показали, что процесс происходит одновременно по всей данной магнитной поверхности. На рис. 2 приведены аналогичные рис. 1 зависимости, но, для большей наглядности, ход плотности во времени изображен в полулогарифмическом масштабе. Из анализа этих кривых следует, что характерное время уменьшения плотности существенно зависит от радиуса. В центральной области (кривые 1, 2) наблюдается относительно медленный уход плазмы, $\tau_M = 2$ мсек, прерывающийся быстрым сбросом (участок I – II, где $\tau_6 = 0,4$ мсек). Ближе к краю

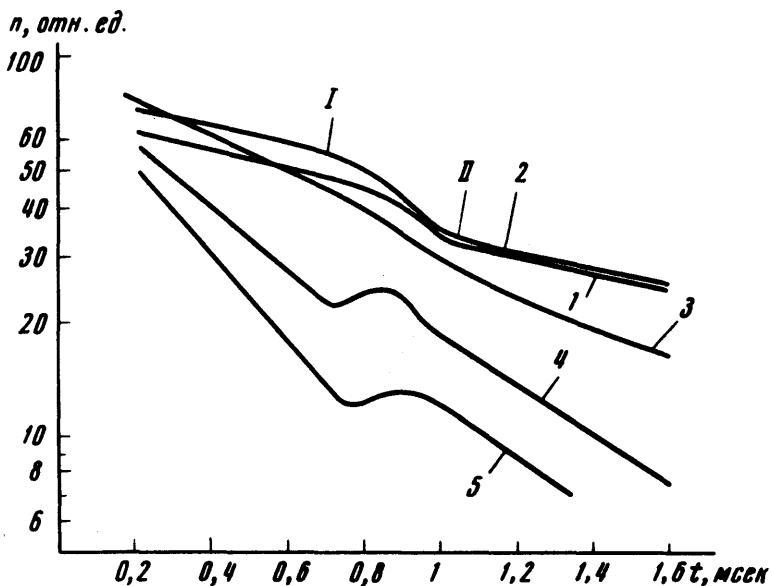


Рис. 2. Кривая 1. – $r = 5$ мм, 2. – $r = 11$ мм, 3. – $r = 17$ мм, 4. – $r = 23$ мм, 5. – $r = 29$ мм

плазмы (кривые 4, 5) τ_M – существенно меньше, – 0,6 – 0,8 мсек. После прекращения сброса различие в скоростях распада в приосевой области и на краю сохраняется и через некоторое время происходит очередной сброс¹⁾. Различие в скорости ухода плазмы на разных радиусах приводит к изменению радиального распределения плотности во времени. Особенно сильно это проявляется в области $r < 20$ мм. Здесь градиент плотности нарастает до некоторой критической величины, при которой распределение, по-видимому, становится неустойчивым, происходит сброс и, в результате, распределение плотности становится более пологим. Форма распределения перед началом быстрого ух

¹⁾ Заметим, что время жизни, усредненное по всему объему плазмы, совпадает с измеренным ранее [1].

да плазмы не зависит от уровня плотности и хорошо воспроизводится. Такой нестационарный характер распада наиболее ярко наблюдается при рациональных углах преобразования, например, $i = 4\pi/3; \pi$. При нерациональных значениях нестационарный процесс в приосевой области наблюдается гораздо реже. С ростом магнитного поля H_0 область перестройки градиента сужается и абсолютная величина сброса становится меньше (20 – 30%). При относительно небольшом увеличении давления нейтрального газа ($p_0 > 10^{-5}$ тор) критические градиенты не возникают и сбросы прекращаются.

Таким образом, наблюдаемое в настоящей работе различие в скорости распада плазмы по радиусу, приводит к нестационарности распределения плотности и к возникновению сбросов. В эксперименте обнаружена связь формы распределения плотности с развитием флуктуации. Обращает на себя внимание чувствительность формы распределения и амплитуды колебаний к относительно небольшому изменению давления нейтрального газа ($p_0 \sim 10^{-5}$ тор). Колебания, сопутствующие быстрому распаду, имеют тот же интервал частот ($\omega \sim 2 \cdot 10^{-5}$ сек $^{-1}$), что и наблюдавшиеся ранее [4], экспериментально определенный инкремент ($\gamma \sim 10^{-4}$ сек $^{-1}$) соответствует оцененному теоретически [4], поэтому можно предположить, что они имеют аналогичную природу, и существенное увеличение амплитуды связано с резким возрастанием градиента плотности. Наличие корреляции между увеличением скорости ухода плазмы и раскачкой колебаний (рис. 1 (2)) указывает на то, что последние могут являться причиной ускоренного ухода плазмы из центральной области. Прямую связь между величиной амплитуды колебаний и скоростью ухода плазмы пока установить не удалось.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 апреля 1972 г.

Литература

- [1] Д.К.Акулина, Г.М.Батанов, М.С.Бережецкий, С.Е.Гребенщиков, М.С.Рабинович, И.С.Сбитникова, И.С.Шпигель. "Plasma Physics and Cont. Nucl. Fus. Res.", 11, IAEA, Vienna, 1966.
- [2] М.С.Бережецкий, С.Е.Гребенщиков, Н.М.Зверев, И.С.Шпигель. Труды ФИАН, 32, 20, 1965.
- [3] Д.К.Акулина. ЖТФ, 36, 4, 646, 1966.
- [4] М.С.Бережецкий, С.Е.Гребенщиков, И.А.Косый, И.С.Сбитникова, И.С.Шпигель. ЖЭТФ, 62, 3, 1972.