

04;12

Колебания ($f < 1$ MHz) в электроразрядной ловушке — галатее ЭРЛ-М ("Авоська")

© А.И. Морозов, А.И. Бугрова, А.С. Липатов, В.К. Харчевников

РНЦ Курчатовский институт
Московский институт радиотехники, электроники и автоматики

Поступило в Редакцию 22 марта 2000 г.

Описаны наблюдаемые в эксперименте две моды колебаний ($f_1 \sim 25$ kHz, $f_2 \sim 250$ kHz), и указана вероятная природа этих колебаний.

1. Квадрупольная ловушка — галатее "Авоська" (ЭРЛ-М), функционирующая в электроразрядном режиме, уже описана в ряде наших публикаций [1–3]. Для удобства чтения на рис. 1 приведена схема этой ловушки с распределением z -компоненты магнитного поля вдоль радиуса при $z = 0$.

В статьях [1–3] приводились усредненные по времени характеристики разряда и параметры плазмы в "Авоське". О колебаниях в этой системе очень коротко сказано в тезисах доклада [4]. В настоящей статье приводятся экспериментальные данные о колебаниях $f < 1$ MHz в "барьерном" режиме (ранее [1,2] этот режим назывался разрядом с "мантией". Он реализуется, когда катод помещается в окрестности нулевого магнитного поля), и дается их наиболее вероятная интерпретация.

Исследование колебаний проводилось при работе на ксеноне с расходом $\dot{m} = 2$ mg/s, разрядном напряжении и токе $U_p = 200$ V, $J_p = 200$ mA и барьерном поле $H_1 = 20$ Oe. Давление в камере по воздуху $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ mm Hg. В этом режиме параметры плазмы достигают следующих значений: электронная температура $T_{e \max} \sim 20$ eV, $n_{\max} \sim 9 \cdot 10^{10}$ cm $^{-3}$, глубина потенциальной ямы $|\varphi_{\min}| \sim 50$ V.

2. Осциллограммы разрядного тока J_1 сразу выявляют наличие двух типов весьма регулярных колебаний (рис. 2), это колебания с частотами $f_1 \approx 25$ kHz и $f_2 \approx 250$ kHz.

3. Колебания с частотой f_1 .

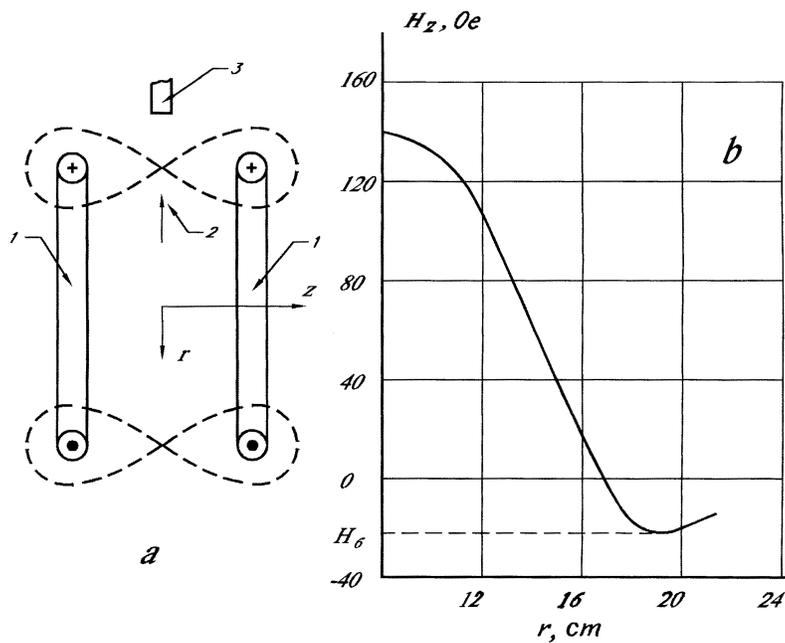


Рис. 1. Конструкция ловушки (а), зависимость $H_z(r, z = 0)$ (b): 1 — магнитные катушки, 2 — катод, 3 — трубка напуска Хе, H_1 — барьерное поле.

Эти колебания, как было предположено в [3], являются "сбросовыми", так как препятствуют переполнению ловушки за счет постоянно идущей ионизации подаваемого газа: накапливающаяся плазма достигает границы МГД-устойчивости (поверхности Окавы [5]) и конвективным образом выбрасывается из ловушки. В пользу этого предположения говорят следующие факты.

а) Близость f_1 к обратному времени накопления ионов в ловушке $f_1 \sim \frac{1}{\tau} = n_0 \langle \sigma V \rangle \sim 30$ kHz. Здесь n_0 — концентрация ксенона в камере ($\sim 3 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$), $\langle \sigma V \rangle \sim 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{s}$. Наличие трубки, подающей ксенон, слабо влияет на параметры разряда по сравнению с разрядом при том же давлении в камере, но без трубки с газом.

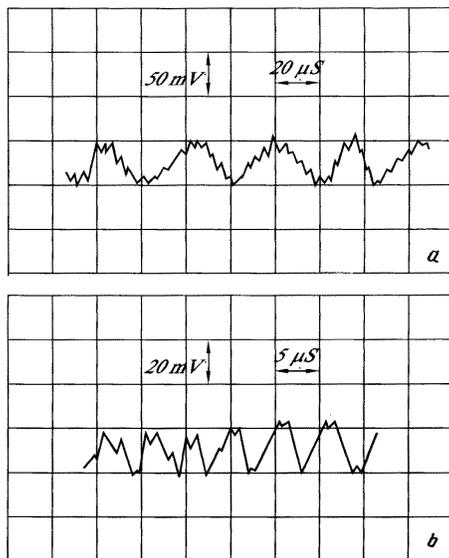


Рис. 2. Осциллограммы колебаний разрядного тока при развертке $T = 20 \mu s$ (a) и $T = 5 \mu s$ (b) с подавленной низкой частотой.

б) Синхронность колебаний ионного и электронного токов на зонды и близость с точностью эксперимента $\sim 30\%$ их относительных (J_{\sim} / J_{\parallel}) амплитуд (рис. 3).

в) Нарастание относительного уровня колебаний зондовых токов при перемещении зонда от центра плазменного шнура к периферии.

г) Синхронность провала ионного тока на зонд внутри плазменного объема с всплеском ионного тока из ловушки, фиксируемого ориентированным по радиусу зондом.

4. Выбрасываемый из ловушки ионный поток, как показали прямые эксперименты с ориентированными зондами, имеет не только радиальную, но и азимутальную компоненты скорости. Эта компонента возникает, по-видимому, под действием азимутального электрического поля. Такое поле обнаружено экспериментально и связано с зависимостью сбросовой волны от азимута.

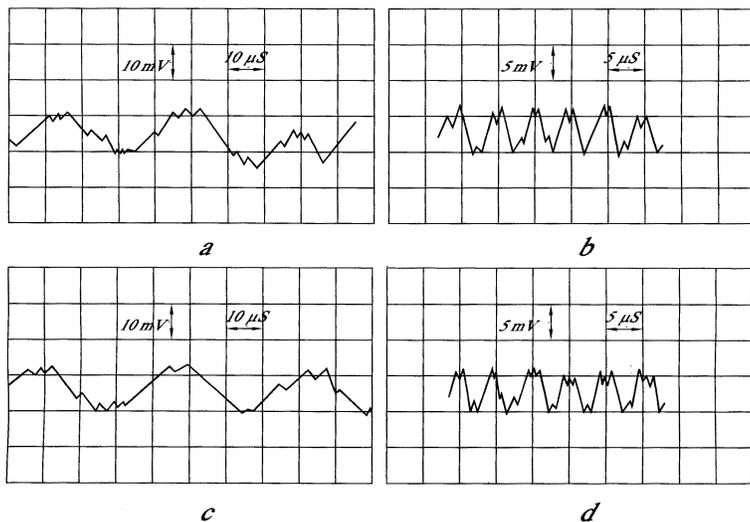


Рис. 3. Осциллограммы колебаний ионного (a, b) и электронного (c, d) токов на зонд при условиях, аналогичных рис. 2.

5. Колебания с частотой f_2 .

Сегодня имеется сравнительно небольшое количество опытных данных, относящихся к этим колебаниям. Однако факт регулярности этих колебаний, масштаб $T_e \sim T_i \sim 20$ eV, а также поперечный размер плазменного объема позволяют высказать предположение, что эти колебания представляют собой "звон" объема на ионно-звуковой моде. Действительно, длина волны колебаний

$$\lambda = \frac{c_3}{f_2} = \sqrt{\frac{k(T_e + T_i)}{M}} \frac{1}{f_2} \approx 3 \text{ cm.}$$

В эту формулу подставлены $T_e = T_i = 20$ eV, M — масса иона ксенона $\sim 2 \cdot 10^{-22}$ g, $f_2 = 200$ kHz. Полученное значение λ близко к эффективному поперечному размеру плазменного объема, что, по нашему мнению, является сильным аргументом в пользу высказанной гипотезы.

Работа выполнена при поддержке Минатома.

Список литературы

- [1] Бугрова А.И., Липатов А.С., Морозов А.И., Харчевников В.К. // Письма в ЖТФ. 1992. В. 8. С. 1–4.
- [2] Бугрова А.И., Липатов А.С., Морозов А.И., Харчевников В.К. // Физика плазмы. 1993. Т. 19. № 12. С. 1411–1417.
- [3] Морозов А.И., Савельев В.В. // УФН. 1998. № 11. Т. 168. С. 1153–1194.
- [4] Бугрова А.И., Липатов А.С., Морозов А.И., Харчевников В.К. // Тез. докл. XXVI Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС. Звенигород, 1999. Т. 18. С. 83.
- [5] Voorhies H.G., Ohkawa T. // Physics of Fluids. 1968. V. 11. N 7. P. 1572–1578.