

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОВУШКИ  
ТИПА „ГАЛАТЕЯ“А.И. Бугрова, А.С. Липатов,  
А.И. Морозов, В.К. Харчевников

В работах [1, 2] была предсказана возможность создания ловушек с  $\beta=1$ , принцип действия которых состоит в удержании плазмы внутри магнитного „забора“ без щелей. При этом было отмечено, что такие ловушки могут быть созданы только с использованием проводников с током, омываемых плазмой. Ловушки такого типа были названы „Галатеями“, а погруженные проводники – „миксинами“

В данной работе приведены экспериментальные результаты исследования ловушки типа „Галатея“, созданной на основе магнитного квадрупольа [3].

Основные элементы ловушки изображены на рис. 1,а. Магнитное поле нужной конфигурации создается с помощью двух одинаковых соосных круговых витков с током одного направления [1]. В качестве витков с током использовались катушки диаметром 30 см, состоящие из 150 витков медного провода. Катушки подвешивались вертикально внутри вакуумной камеры и закреплялись с помощью растяжек на расстоянии 10 см друг от друга. Ток в магнитных катушках мог меняться от 0 до 10 А.

На рисунке пунктирной линией изображена сепаратриса магнитного поля. В ее центре находится область с нулевым магнитным полем, окруженная со всех сторон магнитным барьером. На рис. 1,б приведены кривые зависимости  $H_z(r)$  и  $H_r(z)$  при числе ампер-витков в катушках  $1.5 \cdot 10^3$ . Ось  $z$  совпадает с осью катушек, ось  $r$  перпендикулярна оси  $z$  и проходит через нуль магнитного поля. Из рисунка видно, что составляющая  $H_z(r)$  существенно меньше снаружи катушек, и ее максимальное значение в этой области составляет  $H_{z \max} = 20$  Э.

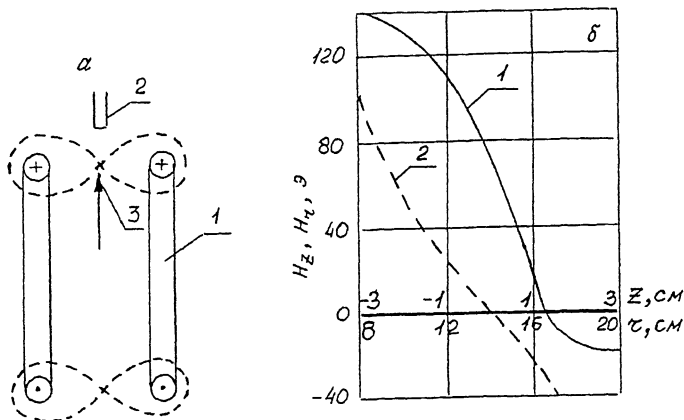


Рис. 1. Схема ловушки и магнитное поле в ней. а - принципиальные элементы ловушки: 1 - виток с током, 2 - трубка напуска газа, 3 - катод, б - зависимость  $H_z(r)$  (1) при  $z=0$  и  $H_r(z)$  при  $r=16.5$  см (2).

В область между катушками подавался ксенон (рис. 1, а) с помощью трубки (2). Катодом (3) служила вольфрамовая нить накаливания. Мощность, потребляемая катодом, не превышала 60 Вт. Расстояние между трубкой напуска и катодом составляло 5 см. Анодом служили камера и алюминиевая фольга, которой были обернуты магнитные катушки. Анод находился под потенциалом земли, а катод под отрицательным потенциалом. Давление в камере было равно  $4 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. по воздуху.

При некотором значении разрядного напряжения  $U_p^* \sim 70$  В зажигается разряд. Характерная величина стартового тока разряда составляет  $J_p^* \sim 100$  мА. При выключенном магнитном поле разряд локализован в области катод - трубка напуска и представляет собой едва заметную светящуюся струю, выходящую из трубки напуска (газоструйный разряд [4]). При включении магнитного поля возникает яркое светящееся кольцо шириной порядка 2 см, расположенное между катушками в области нуля магнитного поля („плазмида“). Кроме того, имеется светящаяся область, охватывающая магнитные катушки („мантия“).

Динамика заряженных частиц образованной плазмы представляется следующим образом. Более подвижные электроны замагничены и движутся вдоль силовых линий магнитного поля по ларморовским спиралям. При этом происходит эквипотенциализация силовых линий магнитного поля. В области нуля магнитного поля образуется потенциальная яма, в которой удерживаются ионы плазмы.

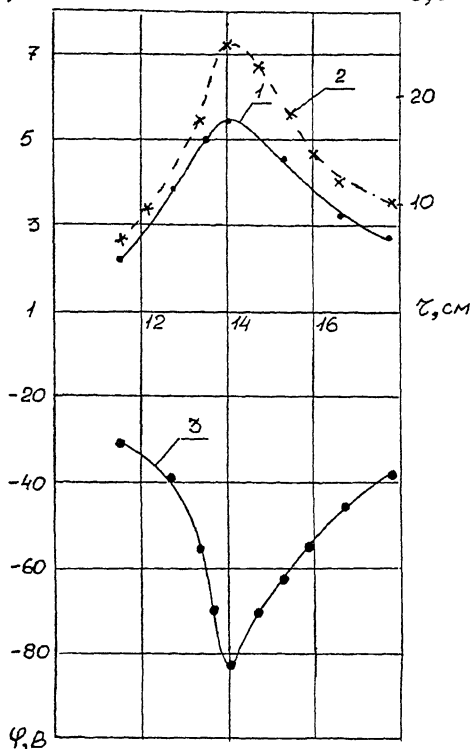
$n_e, 10^{10} \text{ см}^{-3}$  $T_e, \text{ эВ}$ 

Рис. 2. Распределение концентрации (1), электронной температуры (2) и потенциала пространства (3) вдоль оси  $r$ ,  $\dot{m}=2 \text{ мг/с}$ ,  $U_p=180 \text{ В}$ ,  $J_p=160 \text{ мА}$ .

Для измерения параметров плазмы в магнитной ловушке использовался электрический зонд. По вольтамперным характеристикам зонда определялась электронная температура  $T_e$ , потенциал пространства  $\varphi$  и концентрация плазмы  $n$ . На рис. 2 изображено распределение потенциала (1), электронной температуры (2) и потенциала пространства (3) вдоль оси  $r$ . Расход газа (ксенона) составлял  $\dot{m}=2 \text{ мг/с}$ , число ампер-витков в магнитных катушках было равно  $1.5 \cdot 10^3$ . Ассиметричный относительно центра плазмиды вид кривых объясняется зависимостью  $H_z(r)$  (рис. 1, б). Максимальные параметры, полученные в эксперименте, составляли  $T_e=30 \text{ эВ}$ ,  $\langle \varepsilon_i \rangle=40 \text{ эВ}$ ,  $n=1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

Эксперимент показал, что с уменьшением магнитного поля концентрация, температура и глубина потенциальной ямы убывают практически по линейному закону. Это связано с худшим удержанием электронов в ловушке из-за увеличения их ларморовского радиуса.

Оценки показывают, что при указанных параметрах  $\beta \sim 0.6$ .  
Время удержания частиц в ловушке составляет величину  $\tau_E \sim 30$  мкс

Зажигание плазмы должно сопровождаться вытеснением магнитного поля. Измерение  $\Delta H$  (изменение напряженности поля при наличии плазмы) проводилось магнитным зондом, представляющим собой небольшую катушку. Ось катушки ориентирована параллельно оси  $Z$  и смещена от центра плазмы по оси  $r$  к центру катушек на расстояние  $\Delta r = 8$  мм, где величина невозмущенного поля  $H_0 = 25$  Э. Экспериментальное значение  $\Delta H$ , измеренное таким образом, составляло 3.5 Э, что сопоставимо с величиной  $\Delta H = 2.5$  Э, рассчитанное по оценочной формуле.

Полученные результаты дают основание полагать, что ловушки типа "Галатей" представляют большой интерес для физики плазмы. Кроме того, они могут успешно использоваться в прикладных целях.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М о р о з о в А.И. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В.15. С. 86-89.
- [2] М о р о з о в А.И. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В.15. С.89-93.
- [3] Y o s h i k a w a S. // Nuc. Fus. 1973. V. 13. P. 433-449.
- [4] Б у г р о в а А.И., Л и п а т о в А.С., М о р о з о в А.И., Х а р ч е в н и к о в В.К. // Письма в ЖТФ. 1991. Т.17. В.19. С.29-32.

Поступило в Редакцию  
18 марта 1992 г.