

## Исследование нагрева ионов в ловушке с магнитными пробками

Б. С. АКШАНОВ, К. П. БАГИРОВ, Ю. Я. ВОЛКОЛУПОВ, М. А. ЛЫСЕНКО

УДК 533.951

В статье изложены результаты экспериментальных исследований режима нагрева ионов плазмы.

Нагрев плазмы осуществлялся методом инжекции электронных потоков, имеющих большую перпендикулярную к направлению магнитного поля составляющую скорости, в ловушки с магнитными пробками. Переход от режима нагрева электронов к режиму эффективного нагрева ионов плазмы происходил за счет значительного увеличения интенсивности инжектируемого пучка, сопровождающегося раскачкой НЧ-колебаний плазмы.

В зависимости от тока пучка в режиме нагрева ионов наблюдались различные состояния плазмы, и при достаточно плотном пучке ( $n \approx 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ) достигался устойчивый режим нагрева ионов до температуры  $\sim 6 \text{ кэВ}$ .

Анализаторами нейтральных и заряженных частиц исследовалось распределение по энергии быстрых ионов и нейтральных атомов, выходящих из плазмы поперек и вдоль магнитного поля. Температура ионов определялась из полученных распределений по энергии. Достоверность измерения температуры таким методом подтверждалась результатами определения ионной температуры по выходу нейтронов из дейтериевой плазмы.

Изучалось влияние перпендикулярной составляющей скорости пучка на нагрев ионов. Показано, что момент максимального нагрева ионов совпадает с минимальным шагом «спирали» пучка и одновременно с ростом ионных колебаний. Таким образом, изменяя перпендикулярную составляющую скорости пучка, можно управлять развитием как ВЧ-, так и НЧ-колебаний.

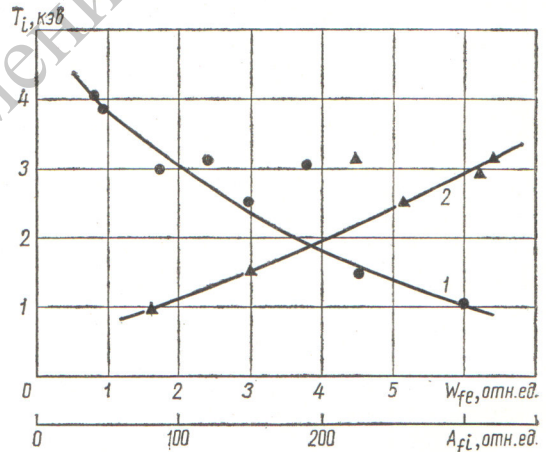
При помощи зондирования плазмы пучками быстрых нейтральных атомов, измерений интенсивности спектральных линий водорода ( $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$ ) и другими методами установлено, что в режиме нагрева ионов плазма имеет высокую степень ионизации — наступает эффект «выгорания» нейтрального газа.

Калориметрические измерения показали, что  $\sim 30$ — $40\%$  мощности пучка идет на нагрев частиц плазмы. Поэтому вероятно, что в ловушках мог осуществляться нагрев значительной массы электронов и ионов до температуры порядка нескольких килоэлектронвольт.

Это предположение подтверждается также тем, что функция распределения ионов и быстрых нейтральных атомов, выходящих из плазмы, близка к максвелловской, а температура ионов, найденная с помощью анализатора нейтральных частиц, достигает значений в несколько килоэлектронвольт.

Измерялись мощности ВЧ- и НЧ-излучений из плазмы. Установлена связь ВЧ- и НЧ-колебаний между

собой и с нагревом электронов и ионов плазмы. Нагрев ионов сопровождается ростом НЧ-колебаний при соответствующем отборе мощности от ВЧ-колебаний (см. рисунок), в результате чего увеличение температуры ионов связано с некоторым остыванием электронов.



Зависимость температуры ионов  $T_i$  от излучаемой из плазмы ВЧ-мощности  $W_{fe}$  (кривая 1) и амплитуды НЧ-колебаний  $A_{fi}$  (кривая 2).

Переменными являются ток пучка  $J$  и напряженные инжекции  $V$ ; поддерживаются неизменными: мощность пучка ( $P \approx 10 \text{ кэвт}$ ), магнитное поле в центре ловушки ( $B_0 \approx 3 \text{ кэс}$ ) и давление рабочего газа ( $p \approx 8 \cdot 10^{-8} \text{ мм рт. ст.}$ ); ● —  $T_i = T_0 = f(W_{fe})$ ; ▲ —  $T_i = f(A_{fi})$ .

При значительной вводимой мощности ( $\sim 10 \text{ кэвт}$ ) и определенных параметрах установки можно приблизиться к условиям получения изотермической плазмы киловольтных температур.

При изучении спектра энергий ионов, выходящих поперек магнитного поля, было замечено, что ионы с энергией  $\sim 15 \text{ кэв}$  генерируются в плазме даже в случае малых магнитных полей, когда ларморовский радиус иона сравним с размерами камеры. Это свидетельствует о существовании механизма однократного ускорения ионов в сильных микрополях плазмы.

(№ 216/4709. Поступила в Редакцию 24/1 1968 г. Полный текст 0,8 а. л., 7 рис., 20 библиографических ссылок.)