

$x_1 = 0,08$ м взято для реконструкции и аппроксимировано полиномом:

$$\rho(x, t) = f(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} A_m \left(t - \frac{x_1 - x_0}{a} \right)^m,$$

где $A_0 = 11,74998$, $A_1 = -11,2383 \cdot 10^6$, $A_2 = 5,3499 \cdot 10^{12}$, $A_3 = -0,8216 \cdot 10^{18}$, $m = 3$, результаты реконструкции обозначены звездочками.

Л и т е р а т у р а

- [1] К р у т и к о в В.С. – Электронная обработка материалов, 1983, т. 6, (114), с. 67.
- [2] К р у т и к о в В.С. Тез. докл. 1У Всес. симпоз. Методы теории идентификации в задачах измерит. техники и метрологии, 12, Новосибирск, 1985.
- [3] С л е п я н Л.И. – ДАН СССР, 1985, т. 282, с. 809.
- [4] Г р а д ш т е й н И.С., Р ы ж и к И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971.
- [5] Г р и н б е р г Г.А. – ПММ, 1967, т. 31, в. 2, с. 193.
- [6] Р о ж д е с т в е н с к и й Б.Л., Я н е н к о Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике. М.: Наука, 1968.
- [7] К р у т и к о в В.С. Одномерные задачи механики сплошной среды с подвижными границами. Киев. Наук. думка, 1985.

Поступило в Редакцию
23 июля 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

О ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕЙТРАЛЬНОГО ГАЗА В ДИВЕРТОРНОЙ ПЛАЗМЕ

С.И. К р а ш е н и н н и к о в, А.С. К у к у ш к и н

В настоящее время так называемые Н-режимы, характеризующиеся хорошим удержанием плазмы в токамаке при дополнительном нагреве, реализуются практически во всех установках с полоидальным дивертором или конфигурацией разряда диверторного типа. Удовлетворительной теоретической модели, описывающей условия перехода в Н-режим, пока нет. Во многих экспериментальных работах [1–3] отмечается общее свойство Н-режимов – резкое уменьшение рециркуляции нейтрального водорода на краю плазменного шнура. Возможно,

это приводит к значительному уменьшению потерь энергии из периферии разряда, перестройке профиля тока и соответственному улучшению МГД-устойчивости различных внутренних мод [4]. В [5] была показана возможность модуляции потока нейтрального газа в основную плазму при развитии автоколебаний в диверторе. Эти колебания возникают при увеличении мощности, поступающей с плазмой в диверторный слой, выше некоторого порогового значения. В данной работе мы рассмотрим другой механизм запираания нейтрального газа, не связанный с колебаниями и также имеющий пороговый характер, и обсудим его возможную роль в установлении H-режима.

Поток нейтрального газа в основную плазму Γ_N в токамаке с диверторной конфигурацией разряда определяется процессами нейтрализации плазмы на приемных пластинах и транспортировки нейтралов через диверторный слой в основную плазму. Область нейтрализации плазмы в диверторных разрядах (в отличие от разряда с лимитером) удалена от периферии плазменного шнура. Поэтому нейтральная частица с большой вероятностью может быть ионизована прежде, чем она попадет в основную плазму. Это приводит к тому, что величина Γ_N оказывается весьма чувствительной к параметрам диверторной плазмы.

Рассмотрим случай, когда поток плазмы на приемные пластины Γ_d из-за рециклинга частиц в диверторе значительно превышает Γ_N и поток плазмы в диверторный слой (Γ_s). Тогда параметры плазмы в диверторном слое слабо зависят от Γ_s [6] и определяются мощностью, поступающей в дивертор W , геометрическими характеристиками и средней концентрацией частиц в диверторном слое $\bar{N} : \Gamma_N = \Gamma_N(W, \bar{N})$. В этом случае баланс частиц в слое можно представить в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} \bar{N} = (\Gamma_s - \Gamma_N(W, \bar{N})) / V, \quad (1)$$

где V — объем диверторного слоя.

При достаточно больших $W : W > W_p$ зависимость Γ_N от \bar{N} оказывается неоднозначной, что качественно можно объяснить следующим образом. Поток Γ_N , ослабляясь из-за ионизации в диверторном слое, примерно равен $T_d \exp(-n_0/n_*)$, где n_0 — концентрация плазмы вблизи x -точки, n_* — нормировочная константа. При малых значениях \bar{N} , когда температура T и концентрация плазмы слабо меняются вдоль силовых линий магнитного поля, $n_0 \sim \bar{N}$. Поток Γ_d связан с W балансом энергии $\Gamma_d (E_d + \beta \cdot T_d) = W$, где E_d — „цена ионизации“ нейтральных частиц, $\beta \approx 2-5$ — численный фактор, описывающий конвективный вынос энергии из пластины и определяемый коэффициентами отражения, T_d, T_0 — температуры плазмы вблизи диверторных пластин и x -точки. Учитывая, что скорость течения плазмы вблизи пластин близка к звуковой $\sim T_d^{1/2}$, при достаточно больших значениях W , когда $T_d \sim T_0 \gg E_d/\beta$, получаем следующую зависимость: $\Gamma_N(\bar{N}) \sim (W \bar{N}^2)^{1/3} \exp(-\bar{N}/n_*)$. Отсюда следует, что при $\bar{N} > 2n_*/\beta$ стационарное решение такого типа оказывается неустойчивым [7] ($\partial \Gamma_N / \partial \bar{N} < 0$).

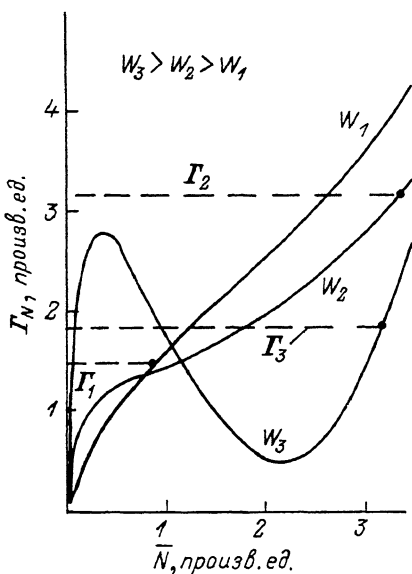


Рис. 1

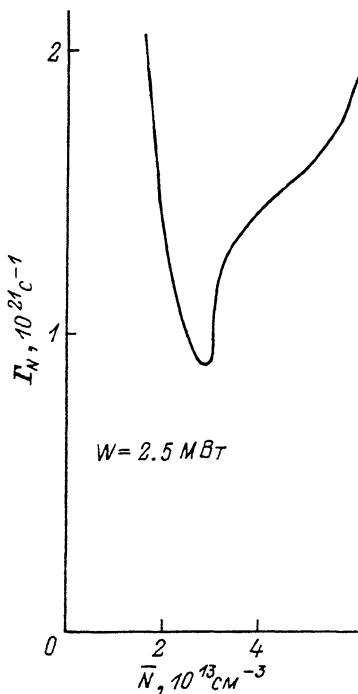


Рис. 2.

Однако при больших \bar{N} приближение $n_0 \sim \bar{N}$, $T_d \sim T_0 \gg E_d / \beta$ становится неприменимым. В этом случае температура плазмы вблизи x - точки T_0 оказывается значительно больше T_d и определяется теплопроводностью плазмы вдоль магнитного поля, слабо завися от T_d [5, 6, 8]. Тогда величину n_0 можно определить из баланса давления плазмы вдоль магнитного поля, теплопроводного механизма передачи энергии и условия энергоданса вблизи пластин [5, 8]: $n_0 \sim W^{5/2} T_d^{1/2} / (E_d + \beta T_d)$. Зависимость $T_d(\bar{N})$, исходя из этих положений, была найдена в [8]. Таким образом, при больших \bar{N} ($n_0/n_* \gg 1$), когда $T_d \ll E_d / \beta$, увеличение \bar{N} , приводящее к уменьшению T_d [8], вызывает уменьшение n_0 и увеличение потока нейтралов в основную плазму $\bar{\Gamma}_N$. Качественная зависимость $\bar{\Gamma}_N(\bar{N})$ для различных значений W приведена на рис. 1.

Такая картина хорошо подтверждается двумерными численными расчетами. На рис. 2 приведены результаты расчетов $\bar{\Gamma}_N$ для параметров ASDEX.

Рассмотрим, как будет вести себя поток $\bar{\Gamma}_N$ при дополнительном нагреве плазмы. Пусть в омической стадии разряда $W = W < W_T$ и $\bar{\Gamma}_3 = \bar{\Gamma}_1$. Стационарное значение \bar{N}_1 определяется из баланса частиц (1) (см. рис. 1). При дополнительном нагреве увеличиваются

величины $W(W=W_2)$ и $T_3(T_3=T_2)$. Если $W_2 < W_p$, то происходит наполнение диверторного слоя и устанавливается новое равновесие, при этом поток нейтралов Γ_N монотонно увеличивается. Однако, если $W=W_3 > W_p$, то по мере увеличения N происходит „запирание“ нейтралов в диверторе, и поток Γ_N значительно уменьшается. Это может приводить к улучшению удержания плазмы и уменьшению $T_3(T_3=T_3 < T_2)$, в результате чего баланс частиц (1) может установиться на более низком уровне потоков $\Gamma_N = T_3 = T_3 < T_2$.

Л и т е р а т у р а

- [1] W a g n e r F., K e i l h a c k e r M. et al. - J. Nucl. Mater., 1984, v. 121, p. 103-113.
- [2] W a g a m i M. et al. ibid., p. 114.
- [3] K a y e S.M. et al. ibid., p. 115-125.
- [4] F u r t h H.P. Proc 12 th Eur. Conf. on Contr. Eus. and Plasma Phys. Budapest, 1985 - invited paper.
- [5] K r a s h e n i n n i k o v S.I., K u k u s h k i n A.S., P o z h a r o v V.A. Proc. 11th Intern. Conf. on Plasma Phys. and Contr Nucl. Fus. Res., Kyoto, 1986. Rep. IAEA-CN-47/E-III-3.
- [6] И г и т х а н о в Ю.А. и др. - Физика плазмы, 1986, т. 12, с. 3-13.
- [7] P o s t D.E. et al. - J. Nucl. Mater., 1984, v. 121, p. 171-177.
- [8] К р а ш е н н и к о в С.И., П о ж а р о в В.А. Гидродинамика нейтральной компоненты в диверторной плазме. Препринт ИАЭ-4173/7. М., 1985.

Поступило в Редакцию
4 июня 1987 г.
В окончательной редакции
13 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

ЭФФЕКТ СТАЦИОНАРНОГО СВЕЧЕНИЯ КАНАЛА ПРОВОДИМОСТИ УДАРНОСЖАТОГО ДИЭЛЕКТРИКА МДМ-СТРУКТУРЫ

Н.Д. С е м к и н, С.М. С е м е н ч у к, Г.Я. Ю с у п о в

Исследуемые МДМ-структуры находят широкое применение в фундаментальных областях астрофизики, космохимии и ряде прикладных задач [1-3].