Письма в ЖЭТФ, том 37, вып. 7, стр. 308 – 310 *5 апреля 1983г.*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ СТЕНКИ РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ НА УСТАНОВКЕ „ТУМАН-3"

В.С.Бураков, С.А.Мошкалев, П.А.Науменков, Г.Т.Раздобарин, В.В.Семенов, В.М.Талыбов, Н.В.Тарасенко

Проведены эксперименты по диагностике плазмы вблизи стенки разрядной камеры токамака. Получены пространственные и временные распределения примесных атомов металлов в режимах омического нагрева и адиабатического сжатия плазмы.

На установке „Туман-3" были выполнены эксперименты по диагностике плазмы вблизи стенки разрядной камеры методом резонансной флуоресценции. Установка „Туман-3" представляет собой токамак, предназначенный для исследования комбинированного адиабатического сжатия по малому и большому радиусам нарастающим магнитным полем [1]. Большой радиус камеры равен 55 см, малый радиус 25 см, высота диафрагмы 1 – 1,2 см. Цельнометаллическая разрядная камера сделана из нихрома толщиной 1,2 мм. Величина продольного магнитного поля в описываемых экспериментах в режиме омического нагрева была 0,3 – 0,4 Тл и достигала 0,9 Тл в режиме адиабатического сжатия. Ток омического нагрева был около 70 кА, концентрация электронов – около 10^{13} $см^{-3}$.

Разработанный вариант диагностической аппаратуры предназначен для возбуждения и регистрации флуоресцентного излучения атомов Fe и Ni, имеющихся вблизи стенки камеры установки „Туман-3". Предусмотрена возможность возбуждать атомы с отдельных уровней тонкой структуры состояний Fe I a^5D и Ni I a^3F. С этой аппаратурой можно также исследовать ряд других атомов и ионов, в частности, Ti I, Ti II, Cr I, Al I [2]. Для возбуждения флуоресценции использовалась вторая гармоника излучения лазера на растворе родамина 4 C (λ = 285 – 310 нм). Накачка красителя осуществлялась второй гармоникой лазера на неодимовом стекле. Параметры ультрафиолетового излучения были следующие: мощность в импульсе 20 – 50 кВт, длительность импульса около 20 нс. Для настройки и контроля длины волны зондирующего ультрафиолетового излучения с точностью 0,01 нм использовался оптогальванический эффект в лампах с полным катодом ЛСП-1.

В экспериментах исследовались пространственные и временные распределения концентрации атомов железа. Возбуждалась резонансная линия Fe I $a^5D_4 - y^5D_4^0$ (λ = 302, 06 нм). Ширина линии зондирующего излучения (0,03 нм) превышала доплеровскую ширину линий поглощения атомов примесей в пристеночной области токамака [3]. Наблюдение излучения флуоресценции атомов железа производилось на смещенной линии, соответствующей переходу $y^5D_4^0 - a^5F_5$ (λ = 382,04 нм), что позволяло существенно снизить уровень паразитно рассеянного излучения. Ввод лазерного излучения в камеру осуществлялся через вертикальный патрубок перпендикулярно экваториальной плоскости тора. Для увеличения посту-

пления в разряд примесных атомов железа внутренняя стенка лазерного патрубка (материал – нихром) была обернута фольгой из нержавеющей стали. Края фольги выступали из патрубка внутрь камеры с таким расчетом, чтобы не выходить за пределы тени диафрагмы (примерно на 10 мм) .Наблюдение флуоресценции производилось последовательно из разных участков плазмы, расположенных вдоль оси патрубка в области, ограниченной тенью диафрагмы и вне ее. Лазерный пучок имел прямоугольное сечение, вытянутое вдоль оси наблюдения с размерами 2 X 0,5 см^2. Телесный угол сбора света составлял около $5 \cdot 10^{-3}$ ср. Участок плазмы вдоль лазерного луча проектировался системой из двух линз на щель монохроматора МДР-2 с 3-х кратным уменьшением. Входная и выходная щели шириной 1 мм (спектральная ширина 2 нм) ограничивали участок спектра собственного свечения плазмы.

Измерения осуществлялись в условиях насыщения возбуждаемого оптического перехода (параметр насыщения $S \approx 10$). В условиях эксперимента минимально регистрируемая концентрация атомов железа составляла около $3 \cdot 10^6$ атомов в см^3. Чувствительность ограничивалась в основном флуктуациями фототока с катода ФЭУ, обусловленного флуоресцентным излучением. Шум собственного свечения плазмы при регистрации флуоресцентного излучения из области в тени диафрагмы был в несколько раз меньше амплитуды регистрируемого сигнала.

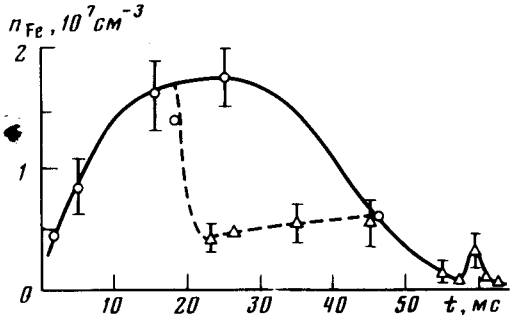
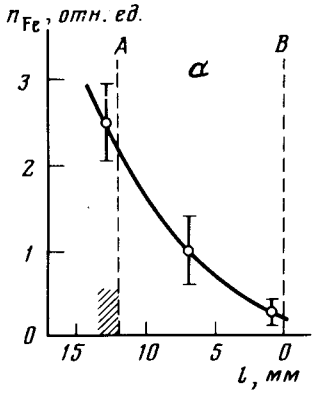


Рис.1. ○ – Режим омического нагрева, △ – режим адиабатического сжатия, начало сжатия при t = 20 мс



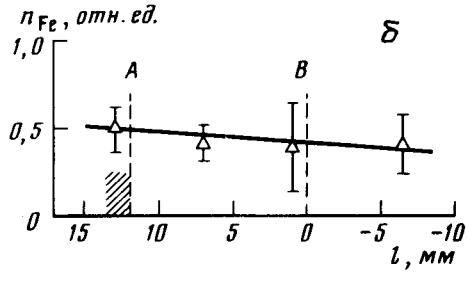


Рис.2. *а* – Режим омического нагрева, *б* – режим адиабатического сжатия; *B* – край диафрагмы, промежуток *AB* – тень диафрагмы

На рис.1 представлены временные зависимости концентрации примесных атомов железа вблизи стенки камеры для двух режимов разряда. Максимальные значения концентрации атомов железа в режиме омического нагрева были зарегистрированы в средней стадии разряда и составляли около $2 \cdot 10^7$ см$^{-3}$. Как видно из рисунка, сжатие плазмы приводит к значительному ослаблению потока примесных атомов со стенки.

На рис. 2, *а, б* показаны пространственные распределения концентрации атомов железа вблизи стенки разрядной камеры. В режиме омического нагрева нейтральные атомы железа наблюдаются лишь в области, ограниченной тенью диафрагмы. Концентрация атомов быстро спадает от стенки к краю диафрагмы. Малая концентрация железа на краю, по-видимому, обусловлена высокой скоростью ионизации атомов электронным ударом на границе плазменного шнура, формируемого диафрагмой. Существенно другое пространственное распределение атомов железа наблюдается в режиме адиабатического сжатия плазмы. Значения концентрации атомов у края диафрагмы и ближе к центру плазмы (на расстоянии около 10 мм от края диафрагмы) мало отличаются от концентрации у стенки. Это связано, скорее всего, с уменьшением скорости ионизации из-за уменьшения концентрации электронов вблизи диафрагмы.

Наряду с исследованиями примесных атомов железа на установке „Туман-3" были выполнены измерения концентрации атомов никеля. Возбуждался переход $a\,^3F_4 - y^3F_3^0$ ($\lambda =$ = 301, 91 нм), наблюдался сигнал флуоресценции, соответствующий переходу $y^3F_3^0 - a^3D_2$ ($\lambda =$ 310,15 нм). Измеренная вблизи стенки максимальная концентрация атомов Ni составляла $(2 \div 3) \cdot 10^7$ см$^{-3}$.

В заключение авторы благодарят В.Е.Голанта за внимание к работе и коллектив установки „Туман-3" за помощь в проведении экспериментов.

Литература

1. *Vorobjev G.M. et al*. Proc. II Joint Grenoble – Varenna Int. Symp. on Heating in Tor. Plasmas, 1980, 985, Como, Italy.
2. *Husinsky W.R.* J. of Vac. Science and Techn., 1981, 18, 1054.
3. *Schweer B., Rusbuldt D., Hintz E., Roberto J.B., Husinsky W.R.* J. of Nucl. Mater, 1980, 93/94, 357.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Институт физики
Академии наук Белорусской ССР

Поступила в редакцию
14 февраля 1983 г.