

## РОЛЬ ДИАФРАГМЫ В БАЛАНСЕ ЧАСТИЦ В ТОКАМАКЕ

Н.Д.Виноградова, К.А.Разумова

С помощью диафрагмы специальной конструкции промерено распределение свечения линии водорода вблизи диафрагмы.

Как было показано ранее с помощью болометрических измерений [1], в макроскопически устойчивом плазменном шнуре в токамаке основная доля энергии, вложенной в плазму, выпадает в процессе разряда на диафрагму и лишь  $10 + 30\%$  – на поверхность лайнера в виде излучения и быстрых нейтралов. В работе [2] было показано, что интенсивность линий водорода в установке ТМ-3 в  $5 + 10$  раз больше в сечении, где расположена диафрагма, чем в удаленных от нее сечениях. Поэтому возникают естественные опасения, что область вблизи диафрагмы может служить источником протонов, неучтенным в работе [3], где скорость прихода протонов в плазму вычислялась по абсолютной интенсивности свечения линий водорода вдали от диафрагмы. Аксиальный размер области с повышенной концентрацией проходящих с диафрагмы частиц, можно оценить, зная сечение ионизации  $\sigma_i$  нейтральных атомов и их скорость  $v_0$ .

$$l \sim \lambda_i = \frac{v_0}{\langle \sigma_i v_e \rangle n_e} \quad (1)$$

Здесь  $\lambda_i$  – длина пробега до ионизации,  $n_e$  – концентрация электронов,  $v_e$  – их скорость. Усреднение ведется по максвелловскому распределению электронов.

Однако, величина  $v_0$  остается весьма неопределенной, так как мы не знаем процессов, происходящих на диафрагме. Поэтому представляет интерес прямое измерение распределения интенсивности свечения линии водорода вдоль направления  $\theta$  (рис. 1). Так как количество диагностических люков в токамаке ограничено, была сконструирована специальная вольфрамовая диафрагма, которая вводилась в горизонтальный патрубок установки ТМ-3 и могла без нарушений вакуума перемещаться по экватору вдоль внешней стенки разрядной камеры на угол  $\theta$  до  $16^\circ$ .

Радиус этой диафрагмы был на 5 мм меньше радиуса основной диафрагмы, расположенной в сечении  $F$ , поэтому [1] влиянием последней на разряд можно пренебречь.

Линия водорода наблюдалась через горизонтальный патрубок  $B$  и через два сквозных вертикальных патрубка  $A$  и  $C$ . В последних двух случаях спектральные приборы были сколлимированы таким образом, что могли "видеть" только объемное свечение плазмы и не захватывали отраженного от стенок света. Прибор, расположенный у патрубка  $B$ , не был заколлимирован, и, следовательно, мог регистрировать блики со стенок. Этот прибор дал область свечения в 1,5 раза большую, чем заколлимированный. Через окна  $A$  и  $E$  можно было ввести два одинаковых болометра, чувствительная поверхность которых устанавливалась

на уровне стенки лайнера. Болومتر в патрубке *E* служил монитором. Через патрубок *D* производилось измерение концентрации электронов микроволновым радиоинтерферометром.

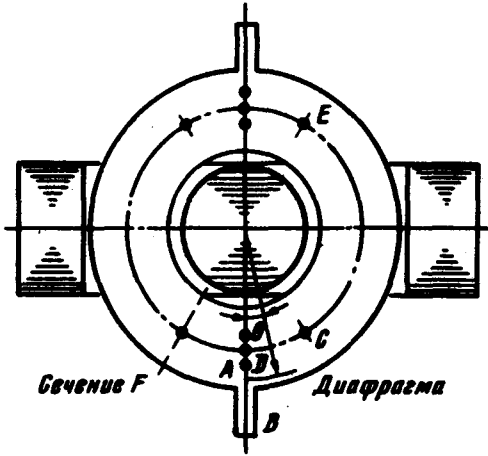


Рис. 1. Схема эксперимента

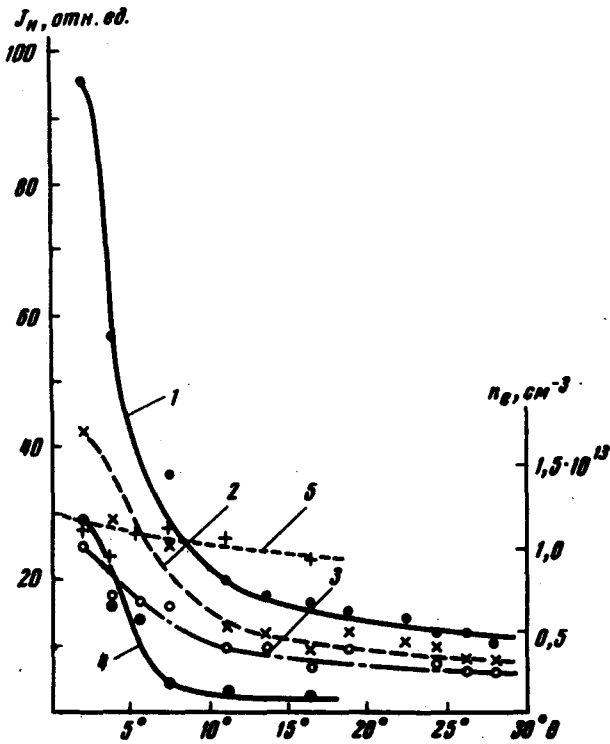


Рис. 2

Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Кривые 1, 2, 3 представляют собой распределение интенсивности свечения линии водорода  $H_{\beta}$ , зарегистрированной колимированными приборами через патрубки *A* и *C* для третьей, пятой и седьмой миллисекунд разряда соответственно. При этом кривые, полученные на приборах *A* и *C*, соот-

кованы путем нормировки. Легко видеть, что область повышенной интенсивности во всех трех случаях локализована в узкой зоне вблизи диафрагмы ( $3 + 5$  см). Эта величина хорошо согласуется с подсчитанной по формуле (1) в предположении, что  $v_0$  соответствует энергиям нейтральных атомов  $\sim 1 + 2$  эв. При отношении интенсивностей свечения вблизи и вдали от диафрагмы  $\sim 5$  вклад диафрагмы в общий баланс оказывается невелик. При этом роль диафрагмы уменьшается к концу разряда. Болومتر в этих измерениях, с учетом распределения по длине, регистрировал около 15% вкладываемой мощности. Сигнал болометра  $A$  слабо зависит от его расстояния до диафрагмы. Это неудивительно, так как болومتر "видит" большой участок плазмы (порядка  $2 + 3$  радиусов диафрагмы), усредняя эффект, вносимый диафрагмой. В пределах точности измерений концентрация электронов (кривая 5, рис. 2) не зависит от расстояния до диафрагмы. На рис. 3 концентрация, усредненная по радиусу плазменного шнура, сравнивается с интегралом по углу  $\theta$  дополнительного свечения  $\Delta J_H$ , обусловленного диафрагмой:  $I = \int \Delta J_H d\theta$ . Можно сделать вывод, что количество атомов водорода, приходящих с диафрагмы, пропорционально концентрации электронов.

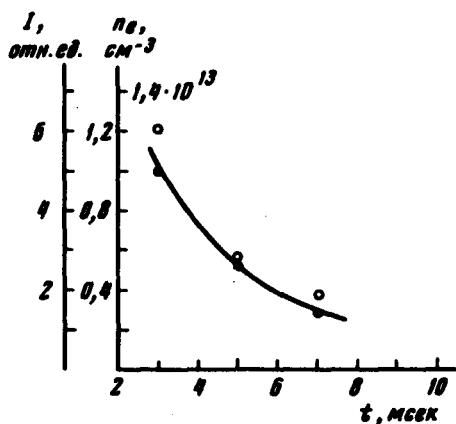


Рис. 3. Зависимость величины  $I = \int \Delta J_H d\theta$  и  $n_e$  от времени:  $\circ$  -  $n_e$ ,  $\bullet$  -  $I$

В одном из обследованных режимов разряда наблюдалась сравнительно слабо развитая неустойчивость срыва. Во время отрицательных выбросов на напряжении имеют место всплески интенсивности свечения линий водорода. На рис. 2 (кривая 4) приведена зависимость амплитуды такого всплеска в функции расстояния от диафрагмы. Размер области повышенного свечения такой же, как и в устойчивом режиме. Доля дополнительного излучения вблизи диафрагмы в момент неустойчивости составляет 30% от полной интенсивности вспышки водорода.

Рассматривая экспериментальный материал, мы можем сделать следующие выводы: 1. Приток атомов водорода с диафрагмы в установке ТМ-3 мало сказывается на общем балансе частиц. Основная часть поступающих в плазму протонов приходит со стенок. 2. Скорости слетающих с диафрагмы атомов водорода соответствует энергии  $\sim 1 + 2$  эв. 3. Во время неустойчивости срыва газоотделение со стенок оказывается весьма существенным, несмотря на то, что основное взаимодействие плазмы происходит с диафрагмой.

Авторы выражают благодарность Г.А.Бобровскому и В.А.Крупину за полезные обсуждения и помощь в работе и В.С.Муховатову за стимулирующие дискуссии.

Институт Атомной энергии  
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию  
18 января 1974 г.

### Литература

- [1] Л.Л.Горелик, К.А.Разумова, В.В.Синицын. *Plasma Phys and Contr. Nucl. Fusion Res.*, 2, IAEA, Vienna, 1966, p. 647.
  - [2] Э.И.Кузнецов. *Атомная энергия*, 25, 315, 1968.
  - [3] Г.А.Бобровский, Э.И.Кузнецов, К.А.Разумова. *ЖЭТФ*, 59, 1103, 1970.
-