

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МАГНИТНО-ЗВУКОВОМУ НАГРЕВУ ИОНОВ В ТОКАМАКЕ ТО-1

*Н.В.Иванов, И.А.Кован, П.И.Козлов, Е.В.Лось,
В.С.Свищев, Н.Н.Швиндт*

Как показано в работе [1], при возбуждении резонансных магнитно-звуковых колебаний плазменного шнура в Токамаке существуют две возможности непрерывной передачи ВЧ энергии плазме. Одна из них основана на раскатке собственных колебаний шнура с помощью широкополосного усилителя, охваченного обратной связью через плазму [2]. Применение обратной связи позволяет поддерживать в плазме колебания определенного типа при изменении концентрации плазмы и перестройке собственной частоты во времени. Другая возможность, изучаемая в настоящей работе, предполагает использование генератора с фиксированной частотой, соответствующей квазинепрерывному участку спектра собственных колебаний плазменного шнура. В этом случае частота генератора должна в несколько раз превышать частоту низшего типа колебаний.

Для нагрева плазмы в наших экспериментах применялся генератор, собранный по схеме самовозбуждения на лампе ГИ-4А. Генератор работал в импульсном режиме на частоте 50 МГц, отдавая в плазму мощность до 5 кВт. Форма импульса напряжения на аноде лампы — экспоненциально спадающая с постоянной спада 25 мсек. ВЧ энергия от генератора поступала по коаксиальному кабелю на петлевой возбудитель, введенный в камеру установки через боковой патрубок. Петля диаметром 32 см, охватывающая плазменный шнур, была изготовлена из нержавеющей стали и в отличие от ВЧ ввода, использованного в работе [3], не изолировалась от плазмы с помощью диэлектрика. Чтобы уменьшить концентрацию плазмы вблизи возбудителя, петля размещалась между двумя молибденовыми диафрагмами с диаметром отверстия 25 см, отстоящими друг от друга на расстоянии 20 см.

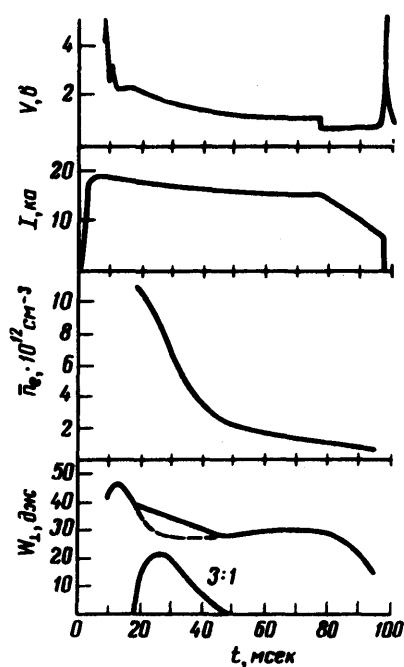


Рис. 1. Изменение напряжения тока усредненной на диаметр диафрагмы концентрации плазмы и энергосодержания плазменного шнура во время разряда. Момент включения генератора 18 мсек. Пунктирной линией показано энергосодержание в отсутствие ВЧ нагрева.

Основные характеристики разряда в водороде при начальном давлении газа $8 \cdot 10^{-4}$ тор и напряженности продольного магнитного поля на оси камеры 8,5 кэ представлены на рис. 1. ВЧ генератор включался в макроскопически устойчивой стадии разряда, когда концентрация плазмы, согласно показаниям 4 мж интерферометра, превышала значение 10^{13} см $^{-3}$. При такой концентрации частота ВЧ колебаний соответствовала плотному участку спектра, что приводило к непрерывной нагрузке генератора. Амплитуда возбуждаемых в плазме полей в этих условиях составляла несколько эрстед, а добротность отдельных резонансных максимумов измерялась сотнями единиц. Из всех приведенных на рис. 1 кривых включение генератора влияло только на временной ход энергосодержания плазмы, определявшегося по диамагнитному эффекту.

Добавка в энергосодержании плазмы, связанная с ВЧ нагревом, показана на том же рисунке. Оцененное по этой кривой энергетическое время равно 2,5 мсек, а мощность, поглощаемая в плазме с учетом изотропии нагрева, составляет 4 квт. В пределах точности измерений это значение совпадает с мощностью, развиваемой генератором. Следует также отметить, что нагрев плазмы сопровождается смещением плазменного шнура наружу и возрастанием тока управляющих обмоток, обеспечивающих равновесие плазмы в ТО-1 [4].

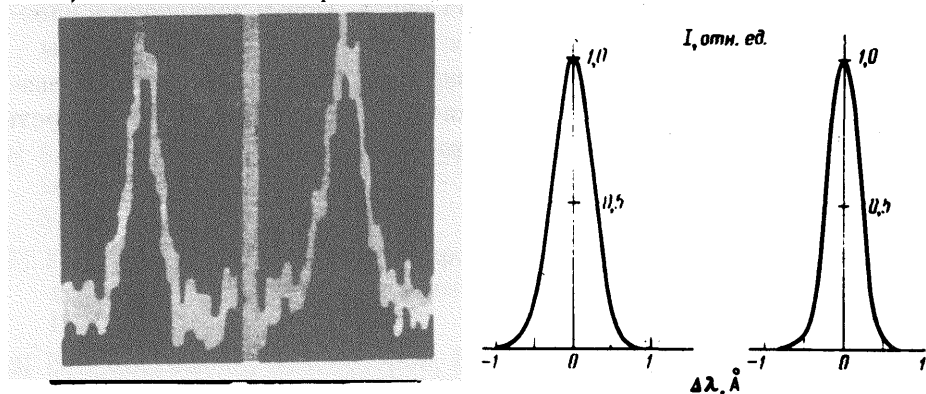


Рис. 2. Сравнение контуров линии CV (2271 Å) с гауссовскими контурами при ВЧ нагреве (слева) и в его отсутствие.

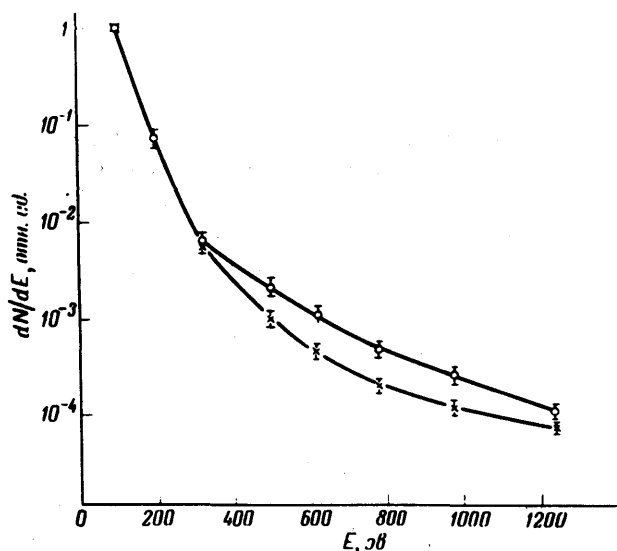


Рис. 3. Энергетическое распределение атомов перезарядки при ВЧ нагреве \circ и в его отсутствие \times в интервале 21 – 26 мсек

Поскольку поглощение ВЧ энергии не приводило к изменению проводимости плазмы, естественно объяснить рост энергосодержания увеличением температуры ионов. В этом предположении изменение ионной температуры, усредненной на диаметр диафрагмы, составляет 30 эв.

Факт нагрева ионов подтверждается измерением доплеровского уширения линии CV, а также анализом энергетического спектра атомов перезарядки из плазмы. Регистрация контура линии производилась с помощью сканирующего интерферометра Фабри – Перо, позволяющего получить развертку контура за время ~ 100 мсек [5]. Обработка

по многим контурам дает на 20 – 22 мсек значения ионной температуры 150 ± 30 эв при ВЧ нагреве и 90 ± 30 эв в его отсутствие. Соответствующие осциллограммы контуров линии приведены на рис. 2.

Анализ нейтральных атомов водорода, вылетающих из плазмы в направлении большого радиуса тора ($R = 60$ см), проводился по методике, описанной в [6]. Изменение энергетического спектра атомов перезарядки под действием ВЧ нагрева показано на рис. 3.

Таким образом, совокупность полученных данных свидетельствует о нагреве ионной компоненты плазмы при возбуждении плотной части спектра собственных колебаний плазменного шнура.

Авторы благодарны Л.И.Пацкову, Г.А.Гурову и В.В.Силуянову за помощь в работе.

Поступила в редакцию
7 июня 1972 г.

Литература

- [1] Н.В.Иванов, И.А.Кован, Е.В.Лось. Атомная энергия, 32, 389, 1972.
- [2] Н.В.Иванов, И.А.Кован, Е.В.Лось. Письма в ЖЭТФ, 14, 212, 1971.
- [3] В.Л.Вдовин и др. Письма в ЖЭТФ, 14, 228, 1971.
- [4] Л.И.Артеменков и др. Труды IV Междунар. конф. МАГ'АТЭ по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 1971, CN-28 С-3.
- [5] В.Т.Голобородько, А.П.Кириченко, Л.П.Немашкало. Измерительная техника, 7, 40, 1967.
- [6] В.В.Афросимов, М.И.Петров. ЖТФ, 37, 1995, 1967.