

ВОЗБУЖДЕНИЕ И ТЕРМАЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ
В СТЕЛЛАРАТОРЕ

П.Я.Бурченко, Б.Т.Василенко, Е.Д.Волков, Р.М.Николаев,
В.А.Потапенко, В.Т.Толок

Многочисленные эксперименты с электрическими разрядами, выполненные на самых разнообразных устройствах, убедительно доказывают необходимость учета коллективных процессов, имеющих место в плазме

при наличии группы ускоренных частиц. Анализ имеющихся данных позволяет сделать заключение, что эти процессы проявляются почти в любом случае, когда нагрев плазмы производится непосредственно в ловушке и электронная температура T_e оказывается при этом больше или порядка ионной [1-4].

Настоящая работа была посвящена исследованию влияния коллективных процессов на поведение плазмы в стеллараторе.

Эксперименты проводились на замкнутой магнитной ловушке "Сириус", представляющей собой рейстрек с двумя трехзаходными винтовыми обмотками, расположенными на тороидальных участках. Основные параметры стелларатора "Сириус" следующие:

аксиальная длина вакуумной камеры $l = 600$ см,
 малый диаметр камеры $d = 10$ см,
 максимальное удерживающее поле . . $H_0 = 2 \cdot 10^4$ э,

$$\beta_c = \frac{nkT}{H_0^2/8\pi} = 75 \cdot 10^{-4}.$$

Для возбуждения интенсивных коллективных колебаний на плазму, созданную в камере стелларатора генератором предварительной ионизации, накладывается продольное электрическое поле большой амплитуды $E \geq E_k = 1,58 \cdot 10^{-8} n/T_e$ [5] при помощи разряда конденсаторной батареи емкостью 0,8 мкф, заряженной до напряжения 5 + 15 кв. Все опыты проводились при начальных давлениях нейтрального гелия $5 \cdot 10^{-5}$ + $8 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст.

В процессе экспериментов измерялись ток плазмы и напряжение на обходе камеры, плотность плазмы, рентгеновское излучение с диафрагмы, ограничивающей размеры плазменного шнура, и со стенки камеры, микроволновое излучение из плазмы, интегральное количество света.

В том случае, когда разряд производился при напряженности электрического поля, меньшей критического поля Дрейсера E_k , сигнал тока имеет синусоидальную форму. При повышении поля форма сигнала искажается, и при $E > E_k$ после раскочки колебаний ток падает

до величины $I = 100 + 200$ а и остается на этом уровне в течение 10 ± 20 мксек, хотя к плазме приложено довольно большое электрическое поле (рис. 1, а).

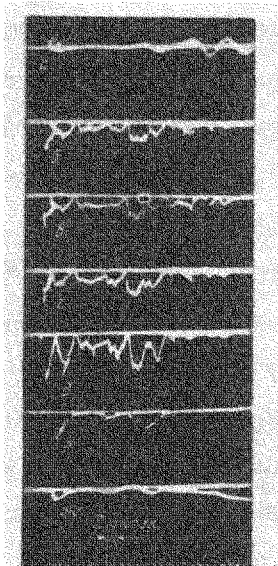


Рис.1. Параметры плазмы во времени: а - ток; б-д - микроволновое излучение в области длин волн (λ) : $7,5 \pm 10$ см (б), 10 ± 15 см (в), 12 ± 600 см (г); 15 ± 600 см (д); е - рентгеновское излучение; ж - интегральный свет

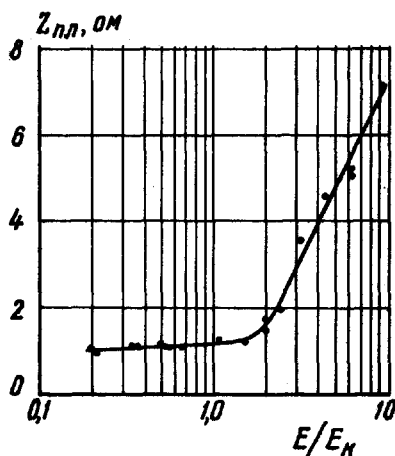


Рис.2. Зависимость полного сопротивления плазмы от величины электрического поля

Изучение зависимости величины общего сопротивления плазмы Z от величины электрического поля показало, что Z растет с увеличением E . Если в области полей $E/E_k < 2$ сопротивление плазмы меняется незначительно, то при изменении поля от $E = 2 E_k$ до $E = 10 E_k$ сопротивление плазмы возрастает от 1 до 8 ом (рис.2).

Во всех интервалах исследуемых давлений нейтрального газа и напряженностей электрического и магнитного полей разряд сопровождался микроволновым излучением из плазмы. При напряженности электрического поля $E < E_k$ микроволновое излучение наиболее интенсивно в области длин волн $\lambda = 2 \pm 4$ см, т.е. в непосредственной близости к ленг-

мировской частоте. Следует отметить, что излучение непосредственно на лентмировской частоте обнаружено не было, хотя для его поисков использовалась аппаратура с чувствительностью, большей на порядок величины. При повышении электрического поля мощность излучения в области длин волн $\lambda = 2+4$ см возрастает и становится максимальной при отношениях $E/E_k = 2+4$. Дальнейший рост величины E/E_k приводит к ослаблению излучения. Вместе с тем, при напряженности электрического поля $E \geq E_k$ в плазме возбуждается широкий спектр колебаний в диапазоне длин волн $\lambda = 4,6+600$ см (рис. 1, б-д), причем максимум излучаемой мощности приходится на интервал $\lambda = 12+15$ см, что соответствует в нашем случае бунемановской частоте $\omega = \omega_0 \sqrt{m/M}$.

При электрических полях, больших критического, плазма является источником интенсивного рентгеновского излучения (рис. 1, е). Это излучение регистрируется в момент возникновения неустойчивости как с диафрагмы, ограничивающей размеры плазменного столба, так и со стенок камеры и рентгеновского зонда, размещенного в камере на границе плазмы. Если на диафрагму сбрасывается пучок с энергией, лежащей в пределах 100+200 кэв, что соответствует ускорению электронов в поле $E = 10$ в/см за время $t = 1$ мксек ($W = (eEt)^2/2m$), то спектры поглощения рентгеновского излучения со стенок камеры позволяют сделать заключение, что в плазме имеется группа электронов с почти максвелловским распределением по скоростям, температура которых изменяется в пределах 4+9 кэв при зарядке конденсаторов до 10+15 кв.

Интересно отметить, что измерения интегрального количества света показали, что интенсивность свечения плазмы в момент возбуждения коллективных процессов и появления рентгеновского излучения со стенок камеры резко уменьшается (рис. 1, ж), что косвенно подтверждает наличие процесса нагрева электронов.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность К.Д.Синельникову за интерес к работе и ценные дискуссии.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
31 января 1966 г.

Литература

- [1] W. Bernstein, F.F. Chen, M.A. Heald, A.Z. Kranz. *Phys. fluids*, I, N5, 1958.
- [2] С.Д.Фанченко, Б.А.Демидов, Н.И.Елагин, Д.Д.Рятов. *ЖЭТФ*, 46, 497, 1964.
- [3] Е.К.Завойский. *Атомная энергия*, I4, 57, 1963.
- [4] В.А.Супруненко, Я.Б.Файнберг, В.Т.Толок, Е.А.Сухомлин, Н.И.Рева, П.Я.Бурченко, Н.И.Руднев, Е.Д.Волков. *Атомная энергия*, I4, 349, 1963.
- [5] Дрейсер. Тр. II Женевской конф. по мирному использованию атомной энергии, I, стр. 171. Атомиздат, 1959.