

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОКОНЕСУЩЕЙ ПЛАЗМЕ

К. В. Суладзе

В работе исследовалось явление возникновения интенсивных пучков заряженных частиц в токонесящей плазме в результате образования "разрыва" и сосредоточения в нем полной разности потенциалов. Сильное электрическое поле внутри плазмы [1] ускоряет заряженные частицы и весь ток разряда переносится пучками электронов [2] и ионов. При этом предельный ток ускоренных частиц $J = env$ будет определяться концентрацией плазмы и может достигать больших значений.

Принципиальная схема экспериментов приведена на рис. 1. Из шестиканального искрового источника (ИИ) плазма поступала в разрядный промежуток (РП = 2 см). Электрическое поле прикладывалось к заполненному плазмой ($n \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$) промежутку [2, 3] $t \sim 1 + 2 \text{ мксек}$ и поддерживалось зарядом емкости $C_7 = 0,4 \text{ мкф}$, включенной в разрядный контур. Общий ток в контуре измерялся с помощью сопротивления R_2 . Ток пучка ионов измерялся с помощью цилиндра Фарадея (ЦФ) и сопротивления R_1 , а ток пучка электронов поясом Роговского (ПР). Распределение потенциала плазмы в промежутке определялось одиночным электрическим зондом, нагруженным на омический делитель с со-

противлением 8 ком. Состав и энергетический спектр пучков изучался анализатором Томсона.

Необходимыми условиями возбуждения неустойчивости тока [4 – 6] и возникновения в токонесущей плазме "разрыва" являются: а) предварительное заполнение разрядного промежутка плазмой с параметрами, при которых в процессе нарастания тока сопротивление плазмы становится больше волнового сопротивления контура; б) пропускание через плазму критического тока, достигаемого при некотором начальном напряжении V_0 для данной концентрации плазмы. При этих условиях наблюдается anomальное возрастание сопротивления плазмы, что приводит к срыву общего тока в промежутке (рис. 2, а) и быстрому увеличению разности потенциалов на промежутке до величины часто превосходящей начальное напряжение на конденсаторной батарее. При этом, как показали зондовые измерения, разность потенциалов сосредоточена в турбулентном слое внутри плазмы. На рис. 3 приведена кривая распределения потенциала в плазме. Такое распределение потенциала устанавливается в момент достижения током критического значения и сохраняется в стадии срыва тока. Электроны и ионы ускоряются в слое навстречу один другому до энергии, близкой к приложенному напряжению и формируются в интенсивные пучки.

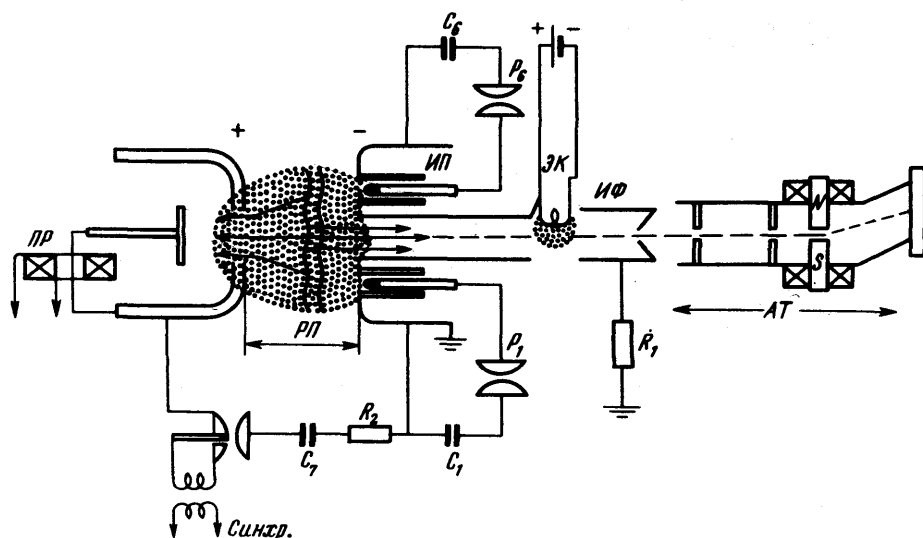


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментов

Следует заметить, что имеется некоторое сходство между изученными в работе пучками и наблюдаемыми в аномальном тлеющем разряде анодными и катодными лучами [7]. Однако, в сущности, обнаружен новый способ формирования пучков в плазме.

Проводился анализ пучков по энергиям и массам. Электроны и ионы H^+ имеют значительный разброс по энергиям. Средние энергии заряженных частиц порядка приложенного напряжения. При большом числе импульсов на фотопластинке просматриваются ионы углерода C^{+1} , C^{+2} , C^{+3} . Максимальная энергия ионов углерода пропорциональна кратнос-

ти заряда, что свидетельствует о потенциальном характере ускорения частиц в слое. Так как в трубку ($\phi = 1 \text{ см}$, $\ell = 15 \text{ см}$), через которую протягивался ионный пучок, плазма не успевала натекать, отсутствовала компенсирующая среда, поэтому собственный пространственный заряд ограничивал ток пучка. С целью увеличения ионного тока была осуществлена компенсация пространственного заряда пучка электронами, создаваемыми накаливаемой вольфрамовой спиралью (ЭК).

На рис. 2, б приведена осциллограмма ионного тока на цилиндр Фарадея, совмещенная с общим электронным током в промежутке (рис. 2, а). Сигнал ионного тока смещен на пролетное время $\tau = 10^{-7} \text{ сек}$ (частота меток времени 10 МГц). При напряжении $V_0 = 20 \text{ кВ}$ в диаметре отверстия в катодном электроде 1 см ток ионного пучка достигал $I = 20 \text{ а}$. При этом критическое значение электронного тока было 9 ка . Следует отметить, что геометрия источника не позволяла вывести весь ток пучка.

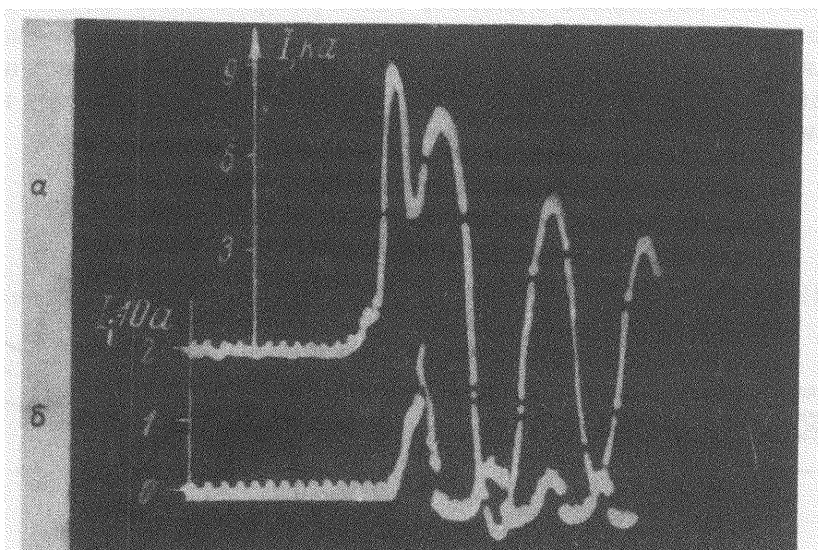


Рис. 2. Осциллограммы тока: а – общий ток, б – ток на цилиндр Фарадея

В области "разрыва" плазмы возникает оболочка объемного заряда, протекает биполярный ток, осуществляется компенсация объемных зарядов пучков. Поэтому должно выполняться соотношение $i_e / i_i \approx (M_i / m_e)^{1/2}$ (в квазистационарном случае). В нашем случае оно применимо для качественных оценок, так как время существования слоя $t \gg \tau$ (где τ – время пролета частицами слоя). Исходя из приведенного соотношения при токе электронного пучка $5 \cdot 10^4 \text{ а}$ могут быть получены ионные пучки с током $1,2 \cdot 10^3 \text{ а}$.

В настоящее время не представляется возможным оценить толщину слоя и представить полную картину механизма образования слоя в плазме. Однако, необходимо отметить, что место локализации и толщина слоя изменяются во времени и зависят от ряда параметров (концентрации плазмы, градиента концентрации, плотности тока, собствен-

ного магнитного поля тока) и длины разрядного промежутка. Несомненно, что образованию слоя предшествует появление направленного сверхзвукового электронного потока в плазме и развитие неустойчивости тока [1, 4 – 6]. Наблюдаемое явление не связано с чисто приэлектродными процессами или пониженной эмиссией катода.

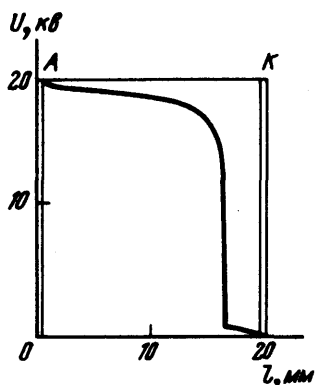


Рис. 8. Распределение потенциала плазмы

Таким образом, установлена возможность возникновения "разрыва" в токнесущей плазме (турбулентного слоя), в результате чего весь ток в плазме переносится пучками электронов и ионов. Этот эффект представляет интерес как с точки зрения формирования мощных потоков заряженных частиц, так и с точки зрения понимания динамики прямых разрядов [8, 9] и вакуумного пробоя [10].

В заключение приношу благодарность И.Ф.Кварцхава, А.А.Плютто и Л.П.Скрипалю за обсуждение результатов и интерес к работе, а также Б.А.Цхадая и А.Т.Капину за помощь в проведении экспериментов.

Сухумский
физико-технический институт

Поступила в редакцию
19 апреля 1972 г.

Литература

- [1] Ю.Г.Калинин, Д.Н.Лин, Л.И.Рудаков, Д.Д.Рютов, В.А.Скорюпин. ЖЭТФ, 59, 1056, 1970.
- [2] К.В.Суладзе, Б.А.Цхадая, А.А.Плютто. Письма в ЖЭТФ, 10, 282, 1969.
- [3] А.А.Плютто, К.В.Суладзе, С.М.Темчин, Е.Д.Короп. АЭ, 27, 5, 418, 1969.
- [4] М.В.Бабыкин, Г.Т.Гаврин, Е.К.Завойский, Л.И.Рудаков, В.А.Скорюпин. ЖЭТФ, 46, 511, 1964.
- [5] А.И.Карчевский, А.П.Бабычев, Ю.А.Муромкин, В.Н.Безмельницин. ЖЭТФ, 53, 4, 1195, 1967.
- [6] А.А.Плютто, К.В.Суладзе, В.Н.Рыжков. Труды VII Междунар. конф. по ускорителям заряженных частиц высоких энергий, 2, 505, 1969, Ереван.

- [7] R. Ritschl. *Phys. Zs.*, 38, 141, 1937.
- [8] Л.А.Арцимович, А.М.Андрианов, Е.И.Доброхотов, С.Ю.Лукьянов,
И.П.Подгорный, В.И.Синицын, Н.В.Филиппов. *АЭ*, 36, 84, 1966.
- [9] А.И.Карчевский. *Письма в ЖЭТФ*, 13, 11, 595, 1971.
- [10] Е.Д.Короп. А.А.Плютто. *ЖТФ*, 40, 12, 1534, 1970.
-