

УСКОРЕНИЕ ИОНОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИЛЬНОТОЧНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ПЛАЗМЫ

А. А. ПЛЮТТО, К. В. СУЛАДЗЕ, В. Н. РЫЖКОВ

*Физико-технический институт, ГКАЭ СССР
Докладчик А. А. Плутто*

В экспериментах по формированию из плазмы импульсных электронных пучков с током $\approx (10^3 \div 10^4)$ а наблюдается эффективное ускорение сгустков ионов плазмы в направлении движения электронов.

Принципиальная схема экспериментов приведена на рис. 1. Электронный пучок формировался из плазмы, создаваемой искровым [1] или коаксиальным источником. Концентрация плазмы в ускоряющем промежутке составляла $(10^{12} - 10^{13}) \text{ см}^{-3}$. Напряжение на ускоряющий промежуток подавалось с задержкой $(10^{-7} \div 10^{-6})$ сек относительно момента срабатывания источника плазмы. Амплитудное значение импульса электронного тока в промежутке достигало $\sim 2 \cdot 10^4$ а. Электронный пучок формировался при достижении амплитудного значения тока в промежутке и составлял до 50% от общего тока (рис. 2). В стадии формирования пучка разность потенциалов на промежутке резко возрастала и сосредотачивалась в области катода. Электронный пучок движется через плазму по нормали к катоду, стягиваясь к оси. Плотность тока в области фокуса достигает $2 \cdot 10^4 \text{ а/см}^2$.

Ускорение ионов в направлении движения электронов [2] развивается в момент формирования электронного пучка. Ионы ускоряются в виде сгустка, содержащего в среднем $(10^{11} \div 10^{12})$ частиц различных энергий. Ток ускоренных ионов на расстоянии 40 см от области ускорения достигает $(1 \div 2)$ а. Поперечник области ускорения составляет $(0,5 - 1)$ см и продольный размер 5—10 см. Расходимость пучка не превышает $\pm 10^\circ$.

Максимальные энергии ионов могут в $10^1 \div 10^2$ раз превосходить среднюю энергию электронов и достигают 4—5 Мев для протонов и 10—20 Мев для ионов углерода C^{+n} ($n=1, 2, 3, 4$) при энергии электронов 200—300 кэв. Энергетический спектр ионов достаточно широк.

Максимальные и средние энергии ионов меняются в значительных пределах от импульса к импульсу. Состав ускоренных ионов отличается от состава плазмы. Наблюдается преимущественное ускорение легких ионов (H^+ , D^+ и др.) при кратковременных ($\sim 10^{-7}$ сек) импульсах напряжения на промежутке. Состав и энергии ионов определялись масс-спектроскопическим анализатором по методу парабол. Энергии протонов оценивались также по прохождению пучка через алюминиевые фольги, толщиной до 50 μ .

Ускорение ионов осуществляется самосогласованными полями напряженностью ($10 \div 10^6$) в/см, возникающими в результате коллективных процессов при прохождении пучка электронов через ограниченную в пространстве плазму. Ускорительный процесс не сводится к тривиальному ускорению ионов разностью потенциалов, так как электронный пучок и ионы движутся совместно в одном направлении, а энергии ионов не зависят от кратности их заряда. Можно предполагать, что ионы ускоряются бегущей волной или волнами, возбуждаемыми электронным пучком. Раскачка волн в результате развития пучковых неустойчивостей, по-видимому, не является необходимым условием развития ускорительного процесса, так как ускорение ионов наблюдается и в том случае, когда электронный пучок не испытывает заметного размытия по энергии. Волна, осуществляющая ускорение, может возникнуть в области компенсации пучка в объеме или на границе плазмы, в результате разделения зарядов (рис. 3). Длина волны в начальной стадии ускорения равна расстоянию разделения зарядов, и напряженность электрического поля $E = \frac{\overline{W}_e}{e\lambda_0}$ достигает $\sim 10^6$ в/см (\overline{W}_e —средняя энергия электронов). Если сгусток ионов мал по сравнению с длиной волны, то будет осуществляться когерентное ускорение [3]. В противоположном случае ускорение ионов будет развиваться в результате запираания пучка на собственном объемном заряде. При этом как и при когерентном ускорении, импульс пучка передается сгустку электронов и через электрическое поле сгустку ионов. Строгая теория ускорительного процесса не развита и высказать окончательное суждение о механизме ускорения было бы преждевременным.

Авторы благодарны С. М. Темчину, Г. П. Мхеидзе, П. Е. Беленсову, Е. Д. Коропу, Б. А. Цхадая, А. Т. Капину, принимавшим участие в некоторых экспериментах.

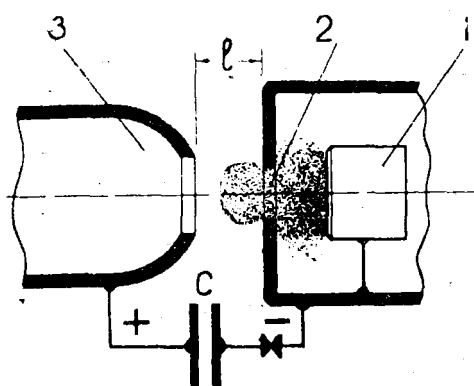


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментов.

- 1. Источник плазмы.
- 2. Отверстие эмиссии.
- 3. Ускоряющий электрод.
- l — ускоряющий промежуток.

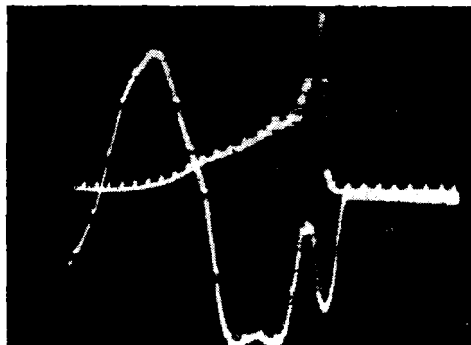


Рис. 2. Осциллограммы общего электронного тока и тока на фарадеев цилиндр.

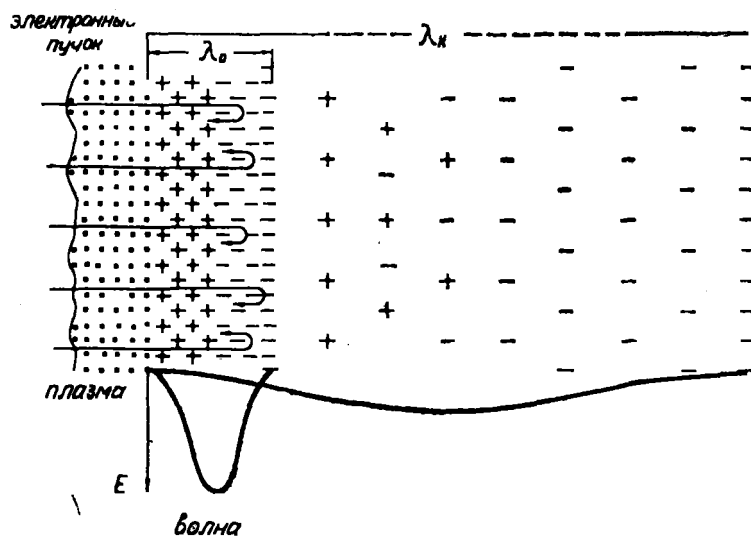


Рис. 3. Структура волны в области разделения зарядов.

λ_0 начальная длина волны,

λ_k конечная длина волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Плютто, И. Ф. Кварцхава, К. Н. Кервалидзе, Атомная энергия, 3, 153, 1957.
К. В. Суладзе, А. А. Плютто, ЖТФ 37, 72, 1967.
2. А. А. Плютто, П. Е. Беленков, Е. Д. Короп, Г. П. Мхеидзе, В. Н. Рыжков, К. В. Суладзе, С. М. Темчин, Письма ЖЭТФ, 6, 540, 1967.
3. В. И. Векслер. Атомная энергия 2, 427, 1957; УФН 66, 99, 1958.