

04;10;12

©1995

## ПЛАЗМА МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА КАК ИСТОЧНИК ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*В.А.Веретенников, А.Е.Гурей, А.Н.Долгов,  
О.Г.Семенов, А.А.Тихомиров*

Потребность ядерно-физического эксперимента и технологии стимулируют интерес к методам получения тяжелых многозарядных ионов. Существующие в настоящее время источники ионов обладают определенными недостатками, из которых, в первую очередь, следует отметить недостаточно высокую кратность ионизации и малое количество многозарядных ионов. Разработка более эффективного ионного источника существенно расширяет возможности ускорителей при проведении фундаментальных и прикладных исследований, несомненно также и экономический выигрыш, так как появляется возможность получить ускоренные до релятивистских энергий пучки тяжелых многозарядных ионов на имеющихся ускорителях без их переделки и модернизации.

Плазма микропинча, образующегося в импульсных сильноточных  $I > 100$  кА электрических разрядах типа Z-пинч, отличается высокими значениями фиксируемых параметров  $T_e \sim 1-10$  кэВ,  $\eta_{eT} \sim 10^{12}-10^{13}$  см<sup>-3</sup> · с [1] и, вероятно, представляет собой один из перспективных источников многозарядных ионов. В плазме микропинча методами дифракционной рентгеновской спектроскопии зарегистрировано появление ионов зарядности  $Fe^{+25}$ . Для случая разряда, например, в плазме железа. Микропинчевый разряд может быть реализован в устройстве типа низкоиндуктивной вакуумной искры, которое отличается простотой конструкции и надежностью в эксплуатации.

Нами было предпринято исследование энергетического и зарядового состава сгустков, покидающих плазму низкоиндуктивной вакуумной искры в осевом направлении по току. Применялись две методики: сепарация частиц в параллельных магнитном и электрическом полях в анализаторе типа Томсона с регистрацией фотоэмульсионным детектором и времяпролетная методика с пассивным коллектором (рис. 1, 2). Первая методика обеспечивает калиброванное детектирование каждой компоненты ионной составляющей, вторая — позволяет оценить количество испускаемых ионов и рассмотреть энергетический спектр ионов

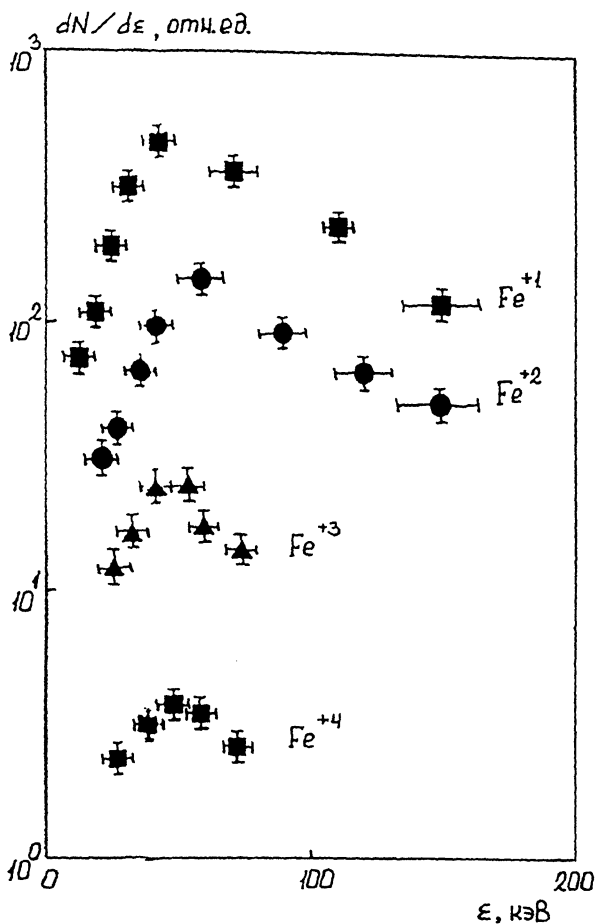


Рис. 1. Энергетические спектры ионов различной кратности, зарегистрированные методом Томсона.

в широком диапазоне. Разряд осуществлялся в вакуумной камере в продуктах эрозии материала электродов. Конический анод и плоский кольцеобразный катод были выполнены из железа. Ток разряда достигал максимального значения  $I_w \sim 100$  кА за время  $T/4 \sim 1$  мкс. Источником тока служит низкоиндуктивная высоковольтная батарея емкостью  $C = 5$  мкФ, зарядное напряжение  $V_0 = 16$  кВ. Начальный вакуум — не хуже  $10^{-4}$  Тор. Разряд инициируется инжекцией форплазмы от вспомогательного разрядного устройства. Оперативный контроль режима разряда осуществлялся с помощью камеры-обскуры, регистрирующей пространственную структуру излучающей в рентгенов-

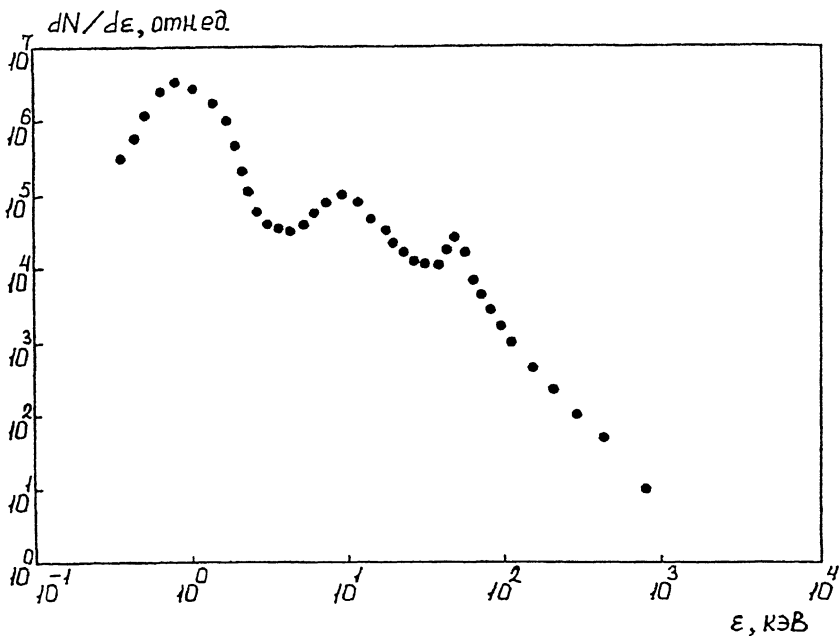


Рис. 2. Энергетический спектр ионов, зарегистрированный с помощью времяпролетной методики.

ском диапазоне плазмы, и скинтилляционного дозиметра, регистрирующего дозу испущенного плазмой разряда рентгеновского излучения  $I < h\nu < 10$  кэВ. Для выделения ионного пучка из плазмы используется принцип создания бесстолкновительной плазмы с последующим разделением ионной и электронной компонент. Предварительное уменьшение плотности плазмы осуществляется путем свободного расширения в вакуум в пролетном тракте. При использовании времяпролетной методики для выделения ионной компоненты на коллектор подавалось отрицательное напряжение смещения. Ввиду отсутствия возможности осуществить прямую калибровку спектрометра Томсона с помощью соответствующего ионного источника был применен "метод математической калибровки" [2]. Используемая методика восстановления энергетического спектра регистрируемых фотоэмульсионным детектором ионных потоков основывается на полученной автором [3] зависимости плотности почернения фотоэмульсии от числа, заряда, массы и энергии ионов.

Результаты регистрации ионных потоков представлены на рис. 1, 2. Уверенно удалось зарегистрировать энергетические спектры ионов железа зарядности от первой до четвертой. Регистрацию ионов более высоких кратностей не

удалось осуществить в силу ограничений, накладываемых чувствительностью детектора. Ограниченные возможности анализатора Томсона в области низких энергий обусловлены необходимостью использовать диафрагмы, формирующие сколламированный ионный пучок.

Следует отметить практически полное совпадение энергетических спектров, полученных с помощью анализатора Томсона, без учета абсолютных значений, для ионов разных кратностей. Можно предположить, что механизм генерации ионных потоков в области энергий частиц  $\sim 50$  кэВ связан с формированием потока плазмы, распространяющегося в осевом направлении из перетяжки, т. е. участка плазменного столба разряда, претерпевающего быстрое радиальное сжатие  $V \sim (2 - 5) \cdot 10^7$  см/с до микронных размеров.

Вид энергетического спектра, полученного с помощью времяпролетной методики преимущественно для однозарядных ионов, свидетельствует о наличии в ионной эмиссии трех групп ионов, максимумы распределения которых лежат в области энергий частиц  $\sim 1, 10$  и  $50$  кэВ. Появление двух первых групп ионов можно связать с процессами формирования микропучка в результате радиационного сжатия и распада в результате развития аномального сопротивления [4].

Количество эмитируемых за один разряд ионов в приосевой области составило в среднем для ионов с энергиями  $> 5$  кэВ величину  $\sim 10^{17}$  ион/ср, причем количество ионов с энергиями  $\sim 20$  кэВ составляет примерно половину от этой величины; для ионов с энергиями  $< 5$  кэВ —  $(3-5) \cdot 10^{17}$  ион/ср. Частота следования импульсов  $10$  Гц.

#### Список литературы

- [1] Кононов Э.Я., Кошелев К.Н., Сидельников Ю.В. // Физика плазмы, 1985. № 11. С. 927.
- [2] Mozer A. IPF-80-1. Institut fur Plasmaforschung der Universitat Stuttgart, 1980. P. 108.
- [3] Силин П.В. Дис. канд. физ.-мат. наук. М., 1985. С. 176.
- [4] Вихрев В.В., Иванов В.В., Кошелев К.Н. // Физика плазмы. 1982. № 8. С. 1211.

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
РАН  
Москва

Поступило в Редакцию  
12 июля 1995 г.