

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ИОНОВ ИЗ ПЛАЗМЫ МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА

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

Описаны результаты исследования с помощью анализатора Томсона энергетического и зарядового состава потока надтепловых ионов из плазмы микропинчового разряда, реализованного в устройстве типа низкоиндуктивной вакуумной искры. На основании полученных энергетических спектров делается вывод о возможности коллективного характера механизма ускорения.

Основное внимание при исследовании плазмы микропинчового разряда уделяется изучению рентгеновского излучения разряда, что объясняется характером перспективных приложений устройств подобного рода /1/ и характером теоретических моделей динамики плазмы микропинчового разряда, требующих экспериментального подтверждения. Образование микропинча в разряде низкоиндуктивной вакуумной искры (НВИ) в рамках представлений модели "радиационного коллапса" /2/, наиболее последовательно объясняющей наблюдаемую динамику плазмы разряда НВИ, обусловлено сжатием плазмы разряда магнитным полем разрядного тока в условиях высокого уровня излучательных потерь энергии из плазмы.

Отвод энергии из области пинчевания, приводящий в процессе сжатия плазмы к достижению высоких локальных значений электронной температуры и плотности ($T_e \sim 1$ кэВ, $n_e \sim 10^{22}$ см⁻³) /3/, возможен и по другим каналам, например, в результате развития ускорительных процессов и генерации надтепловых частиц, покидающих область пинчевания.

Работа /4/ посвящена изучению параметров потоков вещества в виде ионных пучков из плазмы НВИ. Вероятно, в силу направленности в сторону решения конкретной технической задачи — получения ионов возможно большей кратности ионизации — автор не уделил большого внимания механизму формирования энергетического спектра регистрируемых ионов. На основании приводимых энергетических и зарядовых спектров покидающих область разряда ионов, полученных методом время-пролетных измерений, можно прийти к заключению, что механизмом, ответственным за появление наблюдаемых ионных потоков, распространяющихся в основном вдоль оси системы по направлению, совпадающему с направлением разрядного тока, является преимущественно "убегание" частиц из области "хвоста" максвелловского распределения в электрическом поле, что едва ли может быть связано с процессом формирования микропинча в разряде.

Нами было предпринято исследование энергетического состава сгустков ионов, покидающих плазму разряда НВИ в осевом направлении по току, при оперативном контроле за реализацией режима микропинчевания в каждом импульсе. Применяемая методика анализа с сепарацией частиц в параллельных магнитном и электрическом полях (анализатор типа Томсона) /5/ и регистрацией на фотопластинку отличается от использованной ранее большей степенью контроля в отборе ионов из плазмы и калиброванном дефектировании каждого компонента ионной составляющей, обеспечивающем количественные данные по всему спектру.

Для выделения ионного пучка из плазмы используется принцип создания бесстолкновительной плазмы с последующим ее "разрывом", т.е. разделением ионной и электронной компонент /6/. Предварительное уменьшение плотности плазмы осуществляется путем свободного расширения в вакуум после прохождения осевого отверстия во внешнем электроде разрядного устройства /7/ и набора диафрагм. Плазма оканчивается бесстолкновительной после прохождения диафрагмы, для которой выполняется условие $d < \lambda_{ii}$. Здесь d — диаметр диафрагмы, λ_{ii} — средняя длина свободного пробега ионов. Сепарация ионов и плазмы выполняется на последующих диафрагмах. Для этого диаметр отверстия соответствующей диафрагмы должен быть меньше радиуса Дебая для исследуемых частиц.

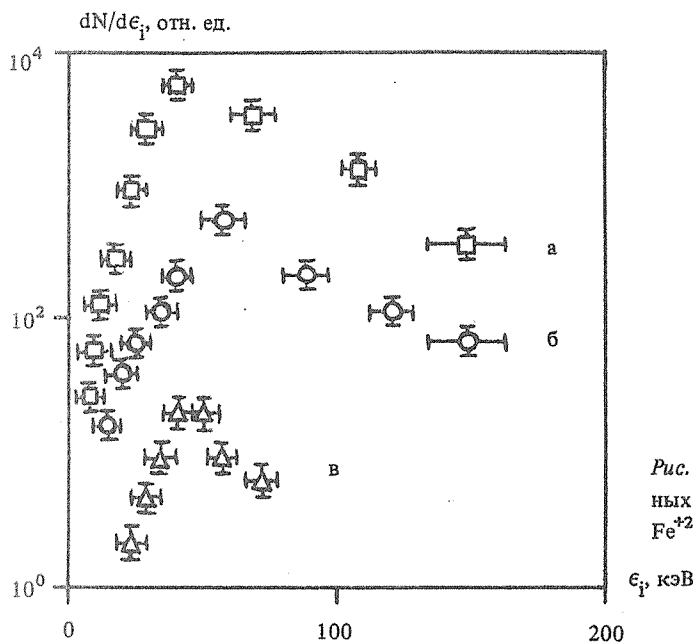


Рис. 1. Энергетические спектры ионов железа, испущенных из плазмы микропинчового разряда: а – Fe^{+1} , б – Fe^{+2} , в – Fe^{+3} .

Зарегистрированные энергетические спектры ионов железа зарядности от первой до третьей (рис. 1) позволяют отметить сравнительно высокие значения энергии наблюдаемых ионов и практически полное совпадение вида спектра для ионов разных кратностей, что свидетельствует скорее в пользу коллективного, а не электростатического механизма ускорения.

Измеренные энергии ионов в максимуме распределения соответствуют скоростям движения $(2 \div 3) \cdot 10^7$ см/с, что близко к наблюдаемым скоростям перемещения плазменных сгустков в НВИ в процессе пинчевания плазмы разряда [7]. Можно предположить, что механизм генерации зарегистрированных ионных потоков связан с формированием при вытекании вещества из области перетяжки распространяющегося в осевом направлении потока плазмы. Оценка кинетической энергии ионных потоков дает величину порядка $10^{-2} \div 10^{-1}$ Дж за импульс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веретенников В. А. и др. Поверхность. Физ., хим., механика, № 1, 115 (1984).
2. Вихрев В. В., Иванов В. В., Кошелев К. Н. Физика плазмы, 8, в. 6, 1211 (1982).
3. Кононов Э. Я., Кошелев К. Н., Сидельников Ю. В. Физика плазмы, 11, в. 8, 927 (1985).
4. Шерозия Г. Я. Автореферат канд. диссертации, М., МИФИ, 1979.
5. Силин П. В. Автореферат канд. диссертации, М., ФИАН, 1985.
6. Чернетский А. В., Зиновьев О. А., Козлов О. В. Аппаратура и методы плазменных исследований. М., Атомиздат, 1969.
7. Веретенников В. А. и др. Физика плазмы, 7, в. 2, 455 (1981).

Поступила в редакцию 26 октября 1987 г.