

ПРЯМАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПОТОКА НАДТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ПЛАЗМЫ МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА

*А.А.Горбунов, М.А.Гулин, А.Н.Долгов,
О.В.Николаев, А.С.Савелов*

Методом магнитного анализатора осуществлена прямая регистрация энергетического спектра надтепловых электронов, эмиттируемых из плазмы микропинчового разряда. Кинетическая энергия потока надтепловых электронов оказывается сравнимой по величине с тепловой энергией плазмы микропинча.

Наиболее последовательной и подтвержденной результатами экспериментальных исследований теоретической моделью явления микропинчевания в зет-пинчевых разрядах признается в настоящее время модель радиационного сжатия¹. Образование микропинча — локальной области, являющейся интенсивным источником мягкого рентгеновского излучения² — трактуется как результат сжатия плазменного канала разряда вследствие вытекания из него плазмы и потерь энергии на излучение. Формирование потоков надтепловых частиц остается за рамками модели.

В то же время имеются свидетельства присутствия в плазме микропинча надтепловых электронов³. Развитие ускорительных процессов, по мнению ряда авторов, может играть существенную, если не решающую, роль в механизме образования микропинчевой области^{4, 5}, появление которой рассматривается как результат генерации, фокусировки и релаксации в ограниченном объеме пинчующейся плазмы разряда релятивистского электронного пучка.

В данной работе осуществлена прямая регистрация потока надтепловых электронов из плазмы микропинчового разряда, выполненная с помощью компактного анализатора с фокусировкой по направлению при повороте пучка на 180° и фотоэмульсионным детектором частиц.

Эксперименты проводились на установке типа низкоиндуктивной вакуумной искры (рис. 1). Рабочей средой разряда служат продукты эрозии анода (железо). В качестве источника тока использовалась батарея высоковольтных малоиндуктивных конденсаторов. Анализатор размещался непосредственно в вакуумной камере (вакуум не хуже 10^{-4} торр) разрядного устройства у торца внешнего электрода. Анализатор калибровался монохроматическим коллимированным пучком электронов с заданным набором дискретных энергий и регулируемой величиной тока в электронном хронографе марки ЭГ-100М.

Контроль режима осуществлялся с помощью рентгеновской камеры-обскуры, регистрировавшей структуру излучающей плазмы в диапазонах $\lambda < 18$ и $\lambda < 3$ Å в каждом импульсе. Контроль величины тока и суммарного заряда эмиттируемых электронов производился при замене магнитного анализатора на коллектор типа цилиндра Фарадея.

Регистрация потока быстрых электронов осуществлена в режиме с микропинчеванием во втором полупериоде разрядного тока при соответствующем выборе электротехнических параметров, когда происходит инверсия полярности электродов и поток ускоренных электронов распространяется в сторону внешнего электрода.

При токах разряда < 50 кА, когда не происходит формирование микропинча, зарегистрированное энергетическое распределение отличается высокой повторяемостью как в отношении вида самого спектра, так и его абсолютных значений. При увеличении тока свыше 50 кА (режим микропинчевания) проявляется изменчивость формы спектра от одной серии экспериментов к другой, часто отмечается негладкая структура спектра, одновременно значительно возрастает число регистрируемых частиц (рис. 2).

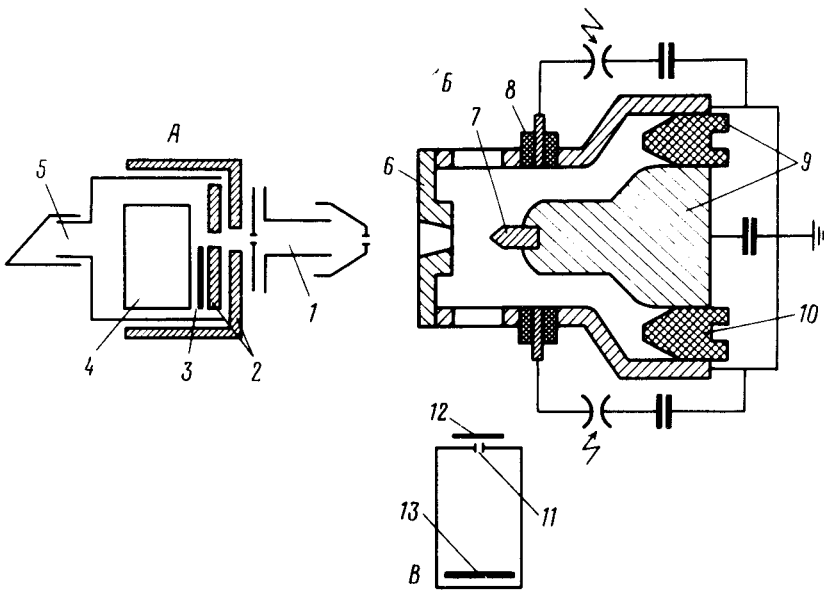


Рис. 1. Схема эксперимента: *A* – магнитный анализатор, *B* – разрядное устройство, *B* – камера-обскура, 1 – система коллимации, 2 – магнитные экраны, 3 – детектор, 4 – постоянные магниты на основе сплава редкоземельных элементов, 5 – юстировочное окно, 6 – катод, 7 – анод, 8 – триггерное устройство, 9 – коаксиальные тоководы, 10 – разделяющий изолятор, 11 – объектив камеры-обскура, 12 – бериллиевый фильтр, 13 – рентгеновская фотопленка

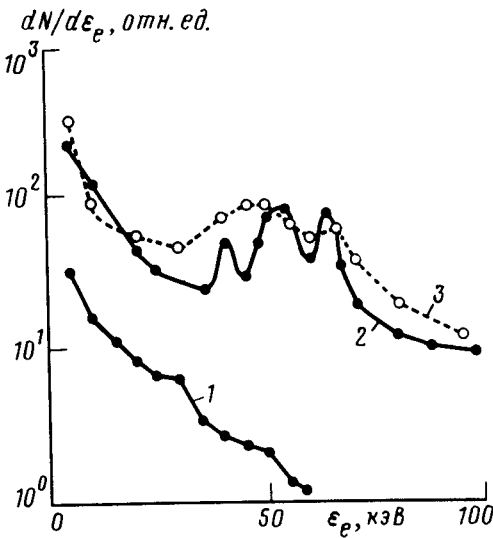


Рис. 1

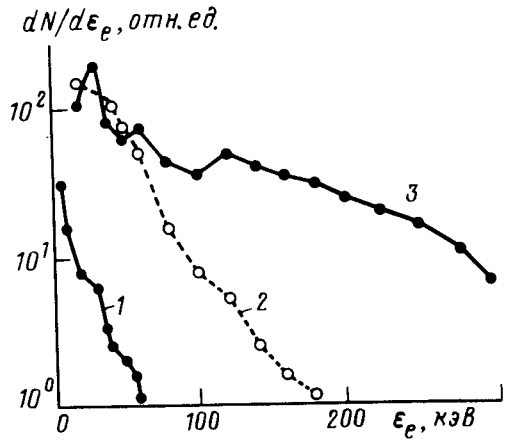


Рис. 2

Рис. 2. Зарегистрированный спектр электронов, испущенных из плазмы микропинчового разряда: 1 – $U = 5$ кВ, $I = 45$ кА, 2 – $U = 25$ кВ, $I = 150$ кА, 3 – $U = 10$ кВ, $I = 90$ кА, U – зарядное напряжение конденсаторной батареи, I – максимальный ток разряда

Рис. 3. Спектры электронов, полученные при различной длине разделяющего изолятора 1: 1 – $U = 5$ кВ, $I = 45$ кА, $l = 8$ см, 2 – $U = 17$ кВ, $I = 150$ кА, $l = 3$ см, 3 – $U = 17$ кВ, $I = 150$ кА, $l = 8$ см

В нескольких сериях электронные спектры фиксировались при различной длине разделительного изолятора, которая определяет величину электрической прочности межэлектродного промежутка. Увеличение длины изолятора приводит к росту интенсивности спектра в области высоких энергий.

Механизм формирования потока быстрых электронов в микропинчевом разряде может быть связан с ускорением частиц в электрическом поле, появляющемся вследствие развития аномального сопротивления пинчуемой плазмы ⁶. Иной механизм, действующий на стадии, предшествующей появлению аномального сопротивления — сохранение адиабатического инварианта $\epsilon_{\perp} / B = \text{const}$ и момента вращения $n\varphi = \text{const}$ в условиях бесстолкновительности в процессе пинчевания ⁷.

Оценка суммарной энергии надтепловых электронов, проведенная на основе результатов их прямой регистрации, дает величину порядка 0,5 Дж, что соответствует результату, полученному из измерений абсолютного выхода жесткого рентгеновского излучения, выполненных с помощью сцинтилляционного дозиметра ⁸.

Приведенные оценки свидетельствуют, что кинетическая энергия надтепловых электронов сравнима по величине с тепловой энергией плазмы микропинча, и, следовательно, развитие ускорительных процессов способно оказать существенное влияние на динамику плазмы в процессе микропинчевания, что необходимо учитывать при построении теоретических моделей данного физического явления.

Литература

1. Вихрев В.В. и др. Физика плазмы, 1982, 8, 1211.
2. Веретенников В.А. и др. Физика плазмы, 1985, 11, 1007.
3. Веретенников В.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 29.
4. Choi P. et al. Rev. Sci. Instrum., 1986, 57, 2162.
5. Jones L.A., Kania D.R. Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 1993.
6. Захаров С.М. и др. Физика плазмы, 1986, 9, 469.
7. Трубников Б.А. Физика плазмы, 1986, 12, 468.
8. Горбунов А.А. и др. Препринт МИФИ №023, 1988.

Московский инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
23 августа 1989 г.