

04;10

О возможности транспортировки электронного пучка со сверхпределным током в вакуумном тракте с плазменными перемычками

© А.Е. Дубинов, В.Д. Селемир, А.В. Судовцов

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики, Саров (Арзамас-16)

Поступило в Редакцию 22 мая 1997 г.

С помощью компьютерного моделирования методом крупных частиц продемонстрирована возможность транспортировки сильноточного электронного пучка со сверхпределным током в вакуумном тракте с плазменными перемычками, в то время как при их отсутствии в тракте образуется виртуальный катод и тракт запирается.

Для решения ряда научных и технических задач необходимо обеспечить передачу энергии в виде сильноточных электронных пучков на большие расстояния без заметных потерь. Для этих целей разрабатываются вакуумированные транспортировочные тракты с магнитным сопровождением пучка [1].

Однако описанный в [1] тракт транспортировки имеет принципиальное ограничение на величину транспортируемого тока [2], при превышении которой в тракте формируется виртуальный катод и тракт "запирается".

Оригинальное решение, направленное на повышение величины транспортируемого тока сверх существующего предела, было предложено в работах [3]. Суть этого решения заключается в разбиении тракта на секции и отделении их друг от друга электропроводящими пленками, фольгами или сетками, которые имеют толщину, много меньшую длины свободного пробега.

Отметим, что такой тракт может и не содержать системы магнитного сопровождения пучка. Так как проводящая пленка (фольга, сетка) вблизи себя шунтирует радиальное дефокусирующее электрическое поле пучка, то вблизи пленки на электроны действуют только силы маг-

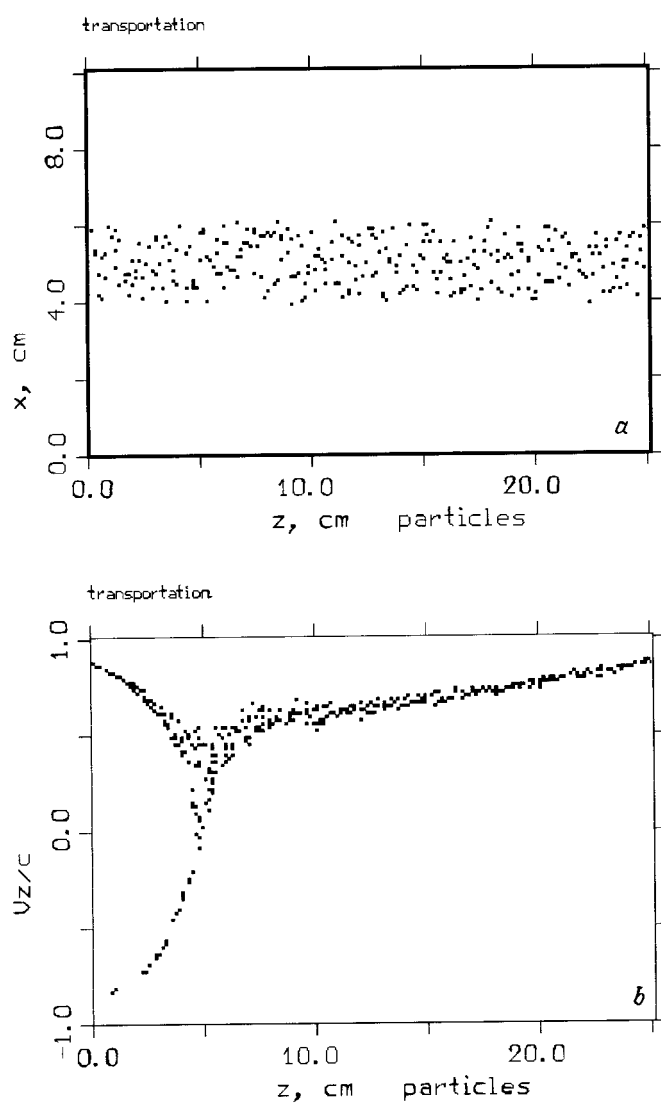


Рис. 1. Результаты моделирования свободного тракта: *a* — геометрия тракта с пучком; *b* — фазовый портрет.

нитной фокусировки, благодаря собственному магнитному полю пучка и необходимость внешней фокусировки снимается. Однако возможно использование такого тракта и с магнитной системой.

Недостатком транспортировочного тракта типа [3] является сильное угловое рассеяние электронов атомами пленки (фольги, сетки), что приводит к потерям электронов пучка и снижает КПД транспортировки. Кроме того, тонкие пленки достаточно недолговечны и повреждаются после небольшого количества импульсов электронного тока.

Теоретические и экспериментальные исследования, проводимые нами при разработке СВЧ генераторов с виртуальным катодом, в которых используется анод в виде тонкого плазменного листа [4,5], навело нас на мысль о замене тонких пленок и фольг в транспортировочных трактах на тонкие плазменные перемычки. Но данное решение нуждается в проверке: не возникнут ли в тракте пучковые или плазменно-пучковые неустойчивости, которые сорвут процесс транспортировки?

С этой целью в данной работе осуществлялось компьютерное моделирование тракта с плазменными перемычками, для чего использовалась 2.5-мерная версия известного пакета программ "КАРАТ" [6], основанная на полностью согласованном PIC-коде.

Тракт транспортировки представлял собой плоский волновод длиной 30 см и шириной 10 см, на который наложено сильное продольное магнитное поле величиной 50 кГс. В волновод инжектировался электронный пучок с линейной плотностью тока 400 А/см с энергией электронов 0.5 МэВ.

Моделировались две ситуации: свободный волновод и волновод, нагруженный двумя плазменными перемычками толщиной 3 см каждая и с концентрацией плазмы в них — $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Результаты моделирования показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

Получено, что в отсутствие плазменных перемычек в тракте формируется виртуальный катод (рис. 1, *b*), что свидетельствует о том, что данная величина электронного тока для данного волновода является сверхпредельной.

При наличии же в тракте плазменных перемычек электронный пучок полностью проходит через волновод, не образуя виртуального катода (рис. 2, *b*).

Таким образом, установлено, что тракт транспортировки, нагруженный плазменными перемычками, может пропускать электронные пучки со сверхпредельными токами без заметных потерь.

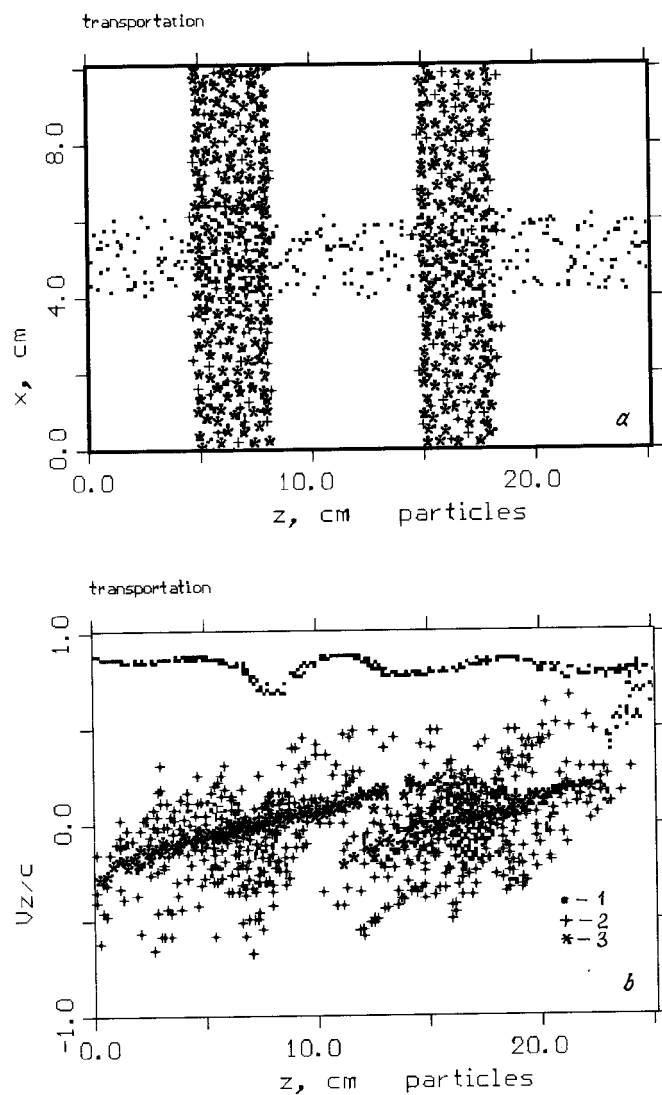


Рис. 2. Результаты моделирования тракта с плазменными перемычками: *a* — геометрия тракта с пучком и плазменными перемычками; *b* — фазовый портрет; 1 — электроны пучка; 2 — электроны плазмы; 3 — ионы плазмы.

Однако следует обратить внимание, что электронный пучок захватывает в коллективное движение положительные ионы плазмы, что может оказаться полезным для ускорения ионных пучков. В этом случае, а также при необходимости получения чистого электронного пучка на выходе тракта транспортировки можно поставить магнитный сепаратор частиц.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 96-02-17047а.

Авторы приносят благодарность В.П. Тарakanову за консультации по использованию пакета "КАРАТ".

Список литературы

- [1] *Chikunov V.V., Knyasev B.A., Melnikov P.I.* // XIIIth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. Paris, 1988, 27-30 June. P. 436.
- [2] *Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А.* // УФН. 1971. Т. 103. № 4. С. 609.
- [3] *Adler R.J., Sabol B., Kiuttu G.F.* // IEEE Transactions on Nuclear Science. 1983. V. NS-30. N 4. P. 3198.
- [4] *Бабкин А.Л., Дубинов А.Е., Корнилов В.Г.* и др. Патент РФ № 2046440 с приоритетом от 8.06.93, МКИ: Н 01 J 25/00 // Бюл. изобр. 1995. № 29.
- [5] *Бабкин А.Л., Дубинов А.Е., Жданов В.С.* и др. // Физика плазмы. 1997. Т. 23. № 4.
- [6] *Tarakanov V.P.* // User's manual for code Karat, Berkley Research Associate, Inc., Springfield, VA, 1992.