

01;07

## Многоканальный энергофильтр в виде цилиндра с закрытыми торцами и осевым нитевидным электродом. Часть II

© Л.П. Овсянникова, Т.Я. Фишкова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

E-mail: L. Ovsyannikova@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 7 декабря 2005 г.

Продолжено теоретическое исследование электростатического многоканального дефлектора с фильтрацией заряженных частиц по энергии, образованного цилиндром с закрытыми торцами и осевым нитевидным электродом. В аналитическом виде получено распределение потенциала при подаче на задний торцевой электрод тормозящего потенциала, совпадающего по величине с потенциалом нити, при заземленных цилиндре и переднем торцевом электроде. За счет такого питания удалось найти режимы работы, обеспечивающие более острую фокусировку пучка по сравнению со случаем, рассмотренным в нашей предыдущей работе, когда задний торцевой электрод заземлялся. Это позволило увеличить в 2–2.5 раза интенсивность пучка при одинаковом размере выходной щели либо при одинаковой светосиле улучшить в 1.5 раза фильтрацию пучка по энергии.

PACS: 41.85.Ja

Многоканальный фильтр по энергии для заряженных частиц в виде цилиндра, на оси которого расположен нитевидный электрод, а по торцам помещены заземленные пластины, был предложен и рассчитан нами в предыдущей работе [1]. Он хорошо сочетается с 1–4-монопольным масс-анализатором и служит отклоняющей системой его регистрирующего устройства. При этом впуск и вывод пучка осуществлялся через торцевые заземленные электроды. В настоящей работе продолжено теоретическое исследование системы с указанной выше геометрией с целью нахождения режимов, обеспечивающих более острую фокусировку пучка, что позволит увеличить светосилу масс-спектрометра либо при той же светосиле улучшить фильтрацию ионного пучка по энергии.

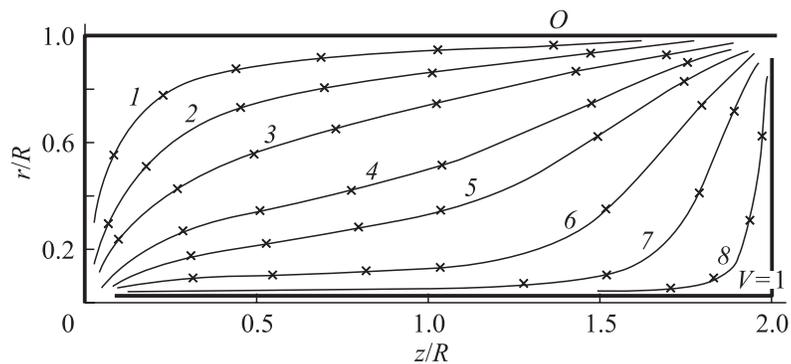
Поставленная задача решалась путем подачи на один из ранее заземленных электродов тормозящего потенциала. При впуске пучка по-прежнему через заземленный торцевой электрод и подачи тормозящего потенциала на противоположный торцевой электрод пучок будет заворачивать и выходить через внешний (заземленный) цилиндр. Оказалось, что можно подобрать величины тормозящего потенциала, при которой широкий пучок на входе, занимающий до 0.3 радиуса апертуры, фокусируется на внешний цилиндр так, что его первоначальный размер уменьшается более чем на порядок. С точки зрения конструкции системы и упрощения ее питания оптимальным является режим, когда величина тормозящего потенциала совпадает с потенциалом осевого электрода. При этом в отличие от предыдущей системы с заземленной задней торцевой стенкой осевой электрод можно крепить прямо к ней.

Нами получено выражение для распределения потенциала описанной выше системы с бесконечно малыми зазорами между электродами, которое имеет следующий вид:

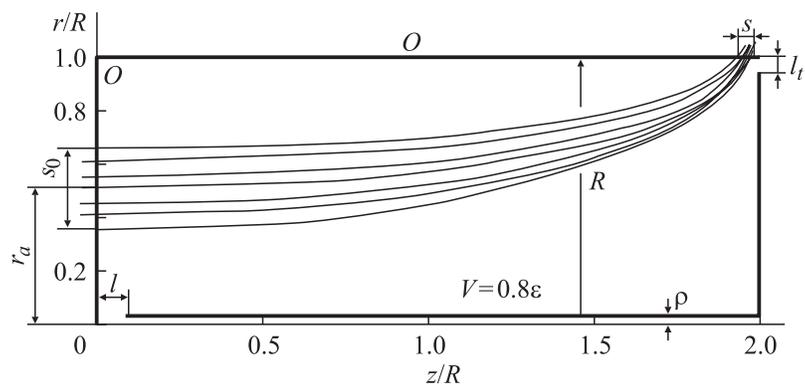
$$\frac{\Phi(r, z)}{V} = \frac{z}{L} + \frac{2}{\pi} \times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{[K_0(\eta_2) - (-1)^n K_0(\eta_1)] I_0(\eta) - [I_0(\eta_2) - (-1)^n I_0(\eta_1)] K_0(\eta) \sin(\chi) \sin(\chi)}{K_0(\eta_2) I_0(\eta_1) - I_0(\eta_2) K_0(\eta_1)} \frac{\sin(\chi)}{n}.$$

Здесь  $V$  — потенциал осевого нитевидного электрода и задней торцевой стенки,  $\eta = n\pi r/L$  и  $\chi = n\pi z/L$  ( $L$  — расстояние между торцами),  $\eta_1$  и  $\eta_2$  — значения аргумента  $\eta$  при  $r = \rho$  (радиус осевого электрода) и  $r = R$  (радиус внешнего цилиндра) соответственно,  $I_0$   $K_0$  — модифицированные функции Бесселя нулевого порядка. Продольная координата  $z$  отсчитывается от передней торцевой стенки. Значения потенциалов, полученные по этой формуле, сравнивались с результатами численного расчета по программе авторов ТЕО. На рис. 1 представлено распределение потенциала в системе с соотношением радиусов  $R/\rho = 100$ , длиной  $L = 2.0R$  и зазорами между электродами  $I = 0.1R$ ,  $l_t = 0.05R$  (ось  $z$  является осью вращательной симметрии системы). Ряд достаточно быстро сходится, и отличие аналитических расчетов от численных не превышает 1%.

Траекторная задача была решена численно также по программе ТЕО для осесимметричных систем. Соображения относительно выбора геометрии исследуемой системы остаются теми же, что и в нашей



**Рис. 1.** Картина распределения потенциала в цилиндрической системе с нитевидным осевым электродом. Сплошные кривые — численный расчет, крестики — расчет по аналитической формуле: 1 —  $\Phi(r, z)/V = 0.02$ , 2 — 0.05, 3 — 0.1, 4 — 0.2, 5 — 0.3, 6 — 0.5, 7 — 0.9, 8 — 0.9.



**Рис. 2.** Траектория однозарядных ионов в системе из двух коаксиальных цилиндров с отклонением на внешний электрод.

предыдущей работе [1]. Для каждой геометрии системы определялась ее сила, обеспечивающая наилучшую фокусировку ионов на внешний цилиндр, в непосредственной близости от которого устанавливается приемное устройство. Характерный ход траекторий пучка, входящего

$L/R$	$\beta$	$r_a/R$	$z_a/R$	$r_0/R$	$s_0/R$	$s/R$	$\lambda/R$	$D/R$	$\delta, \%$
1.5	1.2	0.62	1.39	0.57–0.67	0.1	$4.0 \cdot 10^{-3}$	0.16	0.33	1.2
				0.51–0.71	0.2	$1.5 \cdot 10^{-2}$	0.32		4.5
				0.45–0.75	0.3	$3.2 \cdot 10^{-2}$	0.48		9.7
2.0	0.8	0.51	1.97	0.45–0.55	0.1	$3.1 \cdot 10^{-3}$	0.19	0.29	1.0
				0.41–0.61	0.2	$0.7 \cdot 10^{-2}$	0.39		2.3
				0.35–0.65	0.3	$1.8 \cdot 10^{-2}$	0.59		6.0
2.5	0.62	0.47	2.49	0.42–0.52	0.1	$4.0 \cdot 10^{-3}$	0.21	0.44	0.9
				0.37–0.57	0.2	$1.3 \cdot 10^{-2}$	0.43		3.0
				0.33–0.63	0.3	$3.1 \cdot 10^{-2}$	0.64		7.0
3.0	0.50	0.47	2.98	0.42–0.52	0.1	$4.9 \cdot 10^{-3}$	0.21	0.58	0.7
				0.37–0.57	0.2	$2.1 \cdot 10^{-2}$	0.43		3.6
				0.33–0.63	0.3	$4.8 \cdot 10^{-2}$	0.64		8.3

в систему через заземленную торцевую диафрагму параллельно ее продольной оси, который фокусируется на внешний цилиндрический электрод, представлен на рис. 2. Результаты расчетов параметров предлагаемой отклоняющей системы для однозарядных ионов сведены в таблицу. В таблице представлены параметры при той же геометрии системы, что и в работе [1], с соотношением радиусов  $R/\rho = 100$  и различных длинах  $1.5 \leq L/R \leq 3.0$ : сила отклоняющей системы  $\beta = eV/\varepsilon$  ( $e$  — заряд частицы,  $\varepsilon$  — начальная энергия пучка),  $r_a$  — входная координата основной траектории, вокруг которой происходит фокусировка,  $z_a$  — ее координата на внешнем цилиндре,  $r_0$  — координаты крайних траекторий пучка при различной ширине входной щели  $s_0$ ,  $s$  — соответствующий ей размер выходной щели, расположенной на внешнем электроде в меридианальной плоскости. Азимутальный размер выходной щели равен  $\lambda = (s_0 R)/r_a$ . Приведены также величины дисперсии по энергии  $D$  и разрешающей способности  $\delta = \Delta\varepsilon/\varepsilon$ . Все линейные размеры отнесены к величине радиуса внешнего цилиндра  $R$ . Из таблицы видно, что наилучшая фокусировка, а также фильтрация по энергии имеет место при длине системы  $L = 2R$ , несмотря на то, что несколько уменьшается коэффициент дисперсии по энергии. При этом размер пучка на выходе  $s$  уменьшается по сравнению с его размером на входе ( $s_0/R = 0.1 - 0.3$ ) соответственно в 32–17 раз.

Сравнение с аналогичной отклоняющей системой при заземленном торцевом электроде [1] показывает, что величина рабочего потенциала, подаваемого на осевой нитевидный электрод, существенно уменьшается. Но главное преимущество состоит в том, что светосила рассчитанной в настоящее время системы возрастает в 2–2.5 раза при одинаковых размерах выходной щели обоих устройств. В то же время при одинаковой светосиле обеих отклоняющих систем фильтрация пучка по энергии улучшается в среднем в 1.5 раза.

В заключение отметим, что все остальные преимущества цилиндрической системы с осевым нитевидным электродом, указанные в нашей работе [1], сохраняются.

## Список литературы

- [1] *Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я.* // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. С. 25–29.