

01;02

Многоканальный энергофильтр в виде цилиндра с закрытыми торцами и осевым нитевидным электродом

© 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 28 апреля 2004 г.

Предложен электростатический многоканальный дефлектор с фильтрацией заряженных частиц по энергии, образованный цилиндром с закрытыми торцами, на продольной оси которого расположен нитевидный электрод. Найдено распределение потенциала такой системы в аналитическом виде. Рассчитаны параметры системы при впуске и выводе пучка через ее заземленные торцы. Благодаря малому по сравнению с длиной окружности цилиндра размеру пучка в азимутальном направлении предлагаемая система хорошо сочетается с 1–4 канальным динамическим монополюсным масс-спектрометром для отклонения пучка в его регистрирующее устройство.

Цилиндрический конденсатор с малым радиусом внутреннего электрода и заземленными плоскими торцевыми электродами, через которые происходит вход и выход пучка заряженных частиц, был исследован в нашей работе [1]. В другой нашей работе [2] рассчитан цилиндрический зеркальный энергоанализатор с заземленными торцевыми пластинами, электронно-оптические параметры которого близки к параметрам классического цилиндрического зеркала с фокусировкой второго порядка при угле впуска 42.3° для источника и приемника, расположенных на оси вращательной симметрии системы. Из этих работ следует, что торцевые электроды не только не ухудшают свойств цилиндрических систем с открытыми торцами, но к тому же препятствуют проникновению в них посторонних полей.

Целью настоящей работы является теоретическое исследование электростатической цилиндрической системы с торцевым впуском пучка заряженных частиц, отклоняющей его в сторону внешнего цилиндра. Это открывает возможности для использования такой системы с несколькими источниками пучков заряженных частиц, расположенными

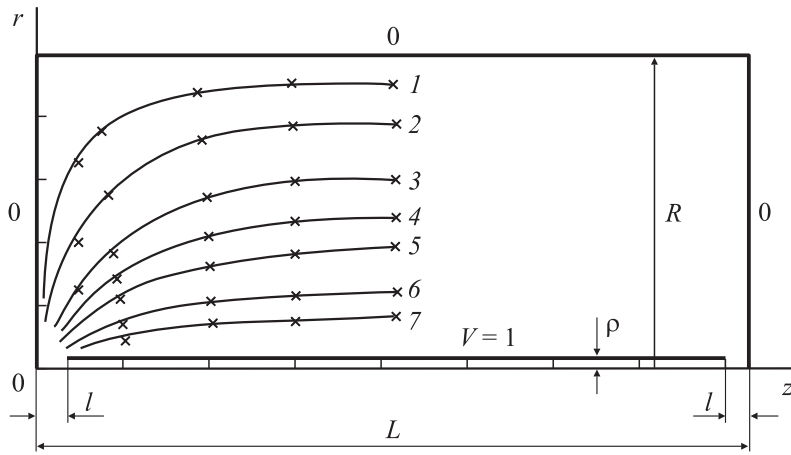


Рис. 1. Картина распределения потенциала в цилиндрической системе с нитевидным осевым электродом при соотношении радиусов $R/\rho = 100$ и длине $L = 2.5R$. Сплошные кривые — численный расчет, крестики — расчет по аналитической формуле. 1 — $\Phi(r, z)/V = 0.02$, 2 — 0.05, 3 — 0.1, 4 — 0.15, 5 — 0.2, 6 — 0.3, 7 — 0.4.

по ее азимуту, в частности, — в 1–4-канальных динамических монополярных пространственно совмещенных масс-спектрометрах, каждый канал которого образован двумя электродами в виде 90° -ного двугранного угла и цилиндрического электрода, расположенного напротив его вершины. Предлагаемая система, располагаемая на выходе масс-спектрометров, осуществляет фильтрацию пучка по энергии и одновременно предотвращает попадание в детекторы быстрых заряженных частиц, фотонов и нейтралей, тем самым повышая порог чувствительности приборов.

Для системы из двух коаксиальных цилиндров с заземленными внешним цилиндром радиуса R и торцевыми электродами при условии бесконечно малых зазоров между ползающим электродом радиуса ρ и торцами выражение для распределения потенциала имеет следующий вид:

$$\Phi(r, z) = 4 \frac{V}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{[K_0(\xi_2)I_0(\xi) - I_0(\xi_2)K_0(\xi)] \sin(\xi)}{K_0(\xi)I_0(\xi_1) - I_0(\xi_2)K_0(\xi_1)} \frac{1}{(2n+1)}.$$

Здесь V — потенциал нитевидного электрода, $\xi = (2n+1)\pi r/L$ и $\xi = (2n+1)\pi z/L$ (L — расстояние между торцами), ξ_1 и ξ_2 —

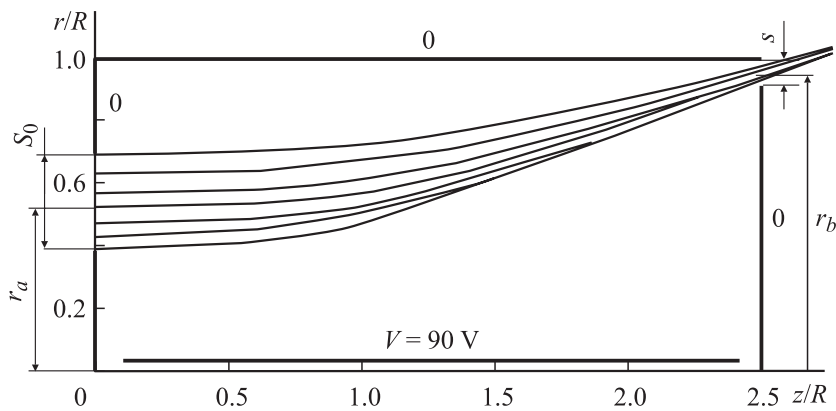


Рис. 2. Отклоняющая цилиндрическая система с фильтрацией по энергии и траектории положительно заряженных частиц с энергией настройки 100 эВ.

значения аргумента ξ при $r = \rho$ и $r = R$ соответственно, I_0 и K_0 — модифицированные функции Бесселя нулевого порядка. Нами показано, что в случае нитевидного внутреннего электрода, когда $R/\rho = 20 \div 200$ при длине системы $L/R = 1 \div 4$, ряд сходится достаточно быстро и для определения потенциала с точностью до трех знаков достаточно двух членов ряда. Значения потенциалов, полученные по этой формуле, сравнивались с результатами расчета по программе авторов ТЕО. На рис. 1 представлено распределение потенциала в системе с соотношением радиусов $R/\rho = 100$ и длине $L = 2.5R$ (продольная ось z является осью вращательной симметрии). В рабочей области, где проходит пучок заряженных частиц ($r \geq 0.4R$), отличие аналитических расчетов от численных не превышает 5%.

На рис. 2 приведен ход траекторий пучка, входящего параллельно оси вращательной симметрии исследуемой системы. Такой ход имеет место за счет тормозящего потенциала, подаваемого на нитевидный электрод при заземленных торцевых электродах и охватывающем цилиндре. Геометрические параметры системы выбирались, исходя из наиболее острой фокусировки на заднем торце вблизи цилиндрического электрода. Для этого отношение радиусов цилиндрического и нитевидного электродов должно быть большим ($R/\rho = 50-200$), а расстояния от торцов до осевого электрода — малым (выбрано $l = 0.1R$). Ранее нами было показано, что при $l \approx (R - \rho)$ фокусировка пропадает. Длина системы варьировалась.

L/R	β	r_a/R	r_0/R	s_0/R	r_b/R	s/R	λ/R	D/R	$\delta, \%$
1.5	3.0	0.61	0.56–0.66	0.1	0.933	$6.6 \cdot 10^{-3}$	0.15	0.34	1.9
			0.52–0.72	0.2		$2.3 \cdot 10^{-2}$	0.31		6.8
			0.48–0.78	0.3		$5.2 \cdot 10^{-2}$	0.46		15.3
2.0	1.5	0.56	0.51–0.61	0.1	0.939	$5.1 \cdot 10^{-3}$	0.17	0.39	1.3
			0.46–0.66	0.2		$2.2 \cdot 10^{-2}$	0.33		5.6
			0.43–0.73	0.3		$4.6 \cdot 10^{-2}$	0.50		11.8
2.5	0.9	0.52	0.47–0.57	0.1	0.937	$5.0 \cdot 10^{-3}$	0.18	0.42	1.2
			0.43–0.63	0.2		$2.0 \cdot 10^{-2}$	0.36		4.8
			0.39–0.69	0.3		$4.3 \cdot 10^{-2}$	0.54		10.4
3.0	0.6	0.50	0.45–0.55	0.1	0.934	$4.9 \cdot 10^{-3}$	0.19	0.43	1.2
			0.40–0.60	0.2		$1.8 \cdot 10^{-2}$	0.37		4.2
			0.36–0.66	0.3		$4.1 \cdot 10^{-2}$	0.56		9.5

Расчеты траекторий положительных однозарядных частиц в описанной цилиндрической системе проведены численно по программе ТЕО. В таблице представлены параметры системы с $R/\rho = 100$ при различных ее длинах $1.5 \leq L/R \leq 3.0$: сила энергофильтра $\beta = eV/\varepsilon$ (e — заряд частицы, ε — начальная энергия пучка), r_a и r_b — входная и выходная координаты основной траектории, вокруг которой происходит фокусировка, r_0 — координаты крайних траекторий пучка при различной ширине входной щели s_0 , s — соответствующий ей размер выходной щели в меридианальной плоскости на заднем торцевом электроде. Азимутальный размер выходной щели равен $\lambda = (s_0 r_b)/r_a$. Приведены также величины дисперсии по энергии D и разрешающей способности $\delta = \Delta\varepsilon/\varepsilon$. Все линейные размеры отнесены к величине радиуса охватывающего цилиндра.

Из таблицы видно, что при увеличении длины системы сила, необходимая для фокусировки пучка вблизи внешнего цилиндра, сильно уменьшается, при этом несколько возрастают острота фокусировки и дисперсия, поэтому разрешающая способность по энергии увеличивается. Следует отметить, что отношение размеров входной и выходной щелей M значительно меньше единицы. При небольшом размере входной щели $s_0 = 0.1R$ $M = (7-5) \cdot 10^{-2}$, при $s_0 = 0.2R$ $M = 0.12-0.09$, а при широкой входной щели $s_0 = 0.3R$ $M = 0.17-0.14$.

В заключение отметим, что использование цилиндрической системы с осевым нитевидным электродом благодаря большой апертуре устройства позволяет проводить широкие пучки заряженных частиц. Это особенно важно при работе с монопольными масс-спектрометрами. Кроме того, изменение диаметра нити при одном и том же размере охватывающего цилиндра в пределах $R/\rho \approx 50-200$ мало влияет на параметры системы. К тому же можно воспользоваться законом геометрического подобия, варьируя диаметр нити и получая требуемые габариты устройства. При этом все геометрические параметры меняются в соответствующее число раз, а электрические — остаются неизменными.

Список литературы

- [1] Овсянникова Л.П., Пасовец С.В., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 12. С. 171–176.
- [2] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1994. Т. 64. В. 10. С. 174–177.