

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

01;10;12

Журнал технической физики, т. 64, в. 10, 1994

© 1994 г.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ
ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР С ЗАКРЫТЫМИ ТОРЦАМИ

Л.П.Овсянникова, Т.Я.Фишкова

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 7 февраля 1994 г.)

Двухэлектродное цилиндрическое зеркало со входом и выходом пучка через внутренний электрод наиболее часто используется для анализа пучков заряженных частиц по энергии. Цилиндрический зеркальный анализатор (ЦЗА) имеет линейную дисперсию порядка величины базы анализатора (расстояние между объектом и приемником) и высокую светосилу вследствие наличия вращательной симметрии и фокусировки второго порядка в плоскости дисперсии [1].

Однако существенным недостатком ЦЗА является необходимость установки по его торцам набора из 3-5 электродов для обеспечения на краях распределения потенциала в соответствии с логарифмическим законом.

Целью настоящей работы является нахождение геометрии и режима работы цилиндрического зеркального анализатора с закрытыми торцами (ЦЗАТ), параметры которого не уступают параметрам классического ЦЗА, а конструкция проще (рис. 2).

Нами получена формула для распределения потенциала двух коаксиальных цилиндров, на торцах которых установлены плоские электроды, находящиеся под потенциалом внутреннего цилиндра. В цилиндрической системе координат с началом в середине ЦЗАТ она имеет вид

$$\varphi(r, z) = V_1 + \frac{4(V_2 - V_1)}{\pi} \times$$

$$\times \left\{ \sum_{n=0}^{i-1} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{K_0[(2n+1)\xi_1]I_0[(2n+1)\xi] - K_0[(2n+1)\xi]I_0[(2n+1)\xi_1]}{K_0[(2n+1)\xi_1]I_0[(2n+1)\xi_2] - K_0[(2n+1)\xi_2]I_0[(2n+1)\xi_1]} \cos(2n+1)\zeta + \right.$$

$$\left. + \sqrt{\frac{\xi_2}{\xi}} \sum_{n=i}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{\text{sh}[(2n+1)(\xi - \xi_1)]}{\text{sh}[(2n+1)(\xi_2 - \xi_1)]} \cos(2n+1)\zeta \right\}, \quad (1)$$

где $\xi = (\pi/l)r$, $\zeta = (\pi/l)z$. Здесь V_1 и V_2 — потенциалы внутреннего и внешнего электродов, имеющих радиусы r_1 и r_2 соответственно, l — расстояние между торцами, I_0 и K_0 — модифицированные функции Бесселя нулевого порядка первого и второго рода. Параметр суммирования i определяется из геометрических размеров анализатора и заданной точности расчета потенциала δ или точности расчета функций Бесселя с помощью асимптотических формул. Так, если $\delta \approx 1-3\%$, то $i \lesssim (2 - \xi_1)/2\xi_1$ (ближайшее целое число), при $8 > l/r_1 > 5$ $i = 1$, при $l/r_1 < 5$ $i = 0$.

Расчеты по формуле (1) показали, что ряд достаточно быстро сходится, если l/r_1 не очень велико. Так, при $\delta \approx 1-3\%$ и $l/r_1 \approx 5$ в области $0.1a \lesssim r - r_1 \lesssim 0.9a$ и $|z| \lesssim l/2 - 0.3a$ ($a = r_2 - r_1$) можно ограничиться тремя членами ряда. Если же $l/2 - 0.3a < |z| < l/2 - 0.1a$, то — четырьмя.

Значения потенциалов, полученные по формуле (1), сравнивались с результатами численного интегрирования уравнения Лапласа с использованием программы ТЕО [2]. На рис. 1 сплошными кривыми представлены результаты численного эксперимента, крестиками — результаты расчета по формуле (1). Отметим, что в области $|z| \lesssim 0.5a$ поле практически совпадает с полем классического ЦЗА.

Известно, что в сферическом и цилиндрическом диффлекторах для улучшения параметров используются дополнительные электроды, расположенные в узких зазорах в середине основных электродов [3]. Нами получены также выражения для потенциала ЦЗАТ с дополнительным электродом, помещенным в середину внешнего электрода,

$$\varphi(r, z) = V_1 + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \frac{K_0(n\xi_1)I_0(n\xi) - K_0(n\xi)I_0(n\xi_1)}{K_0(n\xi_1)I_0(n\xi_2) - K_0(n\xi_2)I_0(n\xi_1)} \times \\ \times \left\{ 2(V_2 - V_1) \cos \left[\frac{n\pi}{4} \left(1 + \frac{\lambda}{l} \right) \right] \sin \left[\frac{n\pi}{4} \left(1 - \frac{\lambda}{l} \right) \right] + (V_3 - V_1) \sin \left(\frac{n\pi}{2} \frac{\lambda}{l} \right) \right\} \cos n\zeta. \quad (2)$$

Здесь V_3 — потенциал вставки длиной λ . Поиск геометрических и электрических параметров ЦЗАТ проведен на персональном компьютере с использованием программы ТЕО по шести независимым переменным: соотношению радиусов внешнего и внутреннего электродов (r_2/r_1); оптической силе

$$F = -\frac{\epsilon(V_2 - V_1)}{\epsilon},$$

где ϵ — энергия заряженных частиц; положению объекта l_0 ; углу впуска пучка θ_0 ; расстоянию между торцами l ; зазору между торцевыми стенками и внешним электродом s .

Оптимальным оказалась геометрия с $r_2/r_1 = 2.3$, $l = 5.2r_1$, $s = 0.2r_1$ и режим работы при положении объекта $l_0 = 0.5r_1$, угле впуска центральной траектории $\theta_0 = 38.8^\circ$ и силе энергоанализатора $F = -0.662$. Ход траекторий в указанном ЦЗАТ показан на рис. 2.

В таблице даны параметры траекторий в ЦЗАТ и в классическом ЦЗА: L — база анализатора, r_{\max} — максимальное удаление частицы от оси, z_n — координата точки поворота траектории. Линейные размеры выражены в единицах радиуса внутреннего цилиндра (r_1).

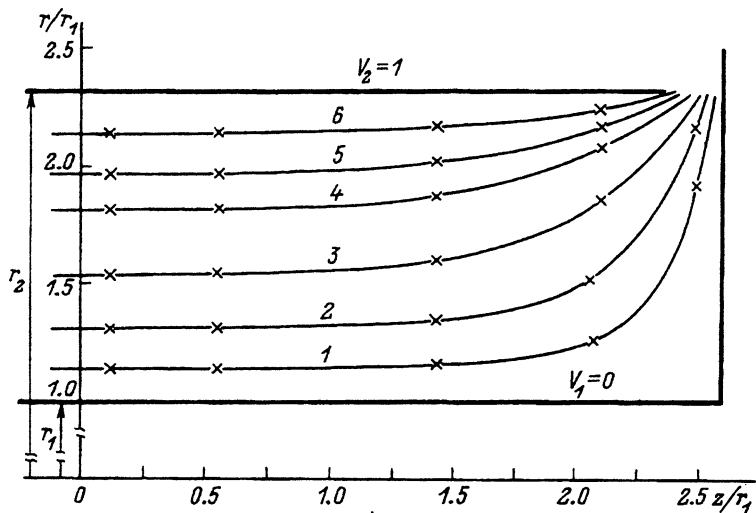


Рис. 1. Распределение потенциала в ЦЭАТ.

φ : 1 — 0.15 ($V_2 - V_1$), 2 — 0.3, 3 — 0.5, 4 — 0.7, 5 — 0.8, 6 — 0.9. Крестики — величины потенциалов, рассчитанные по аналитической формуле.

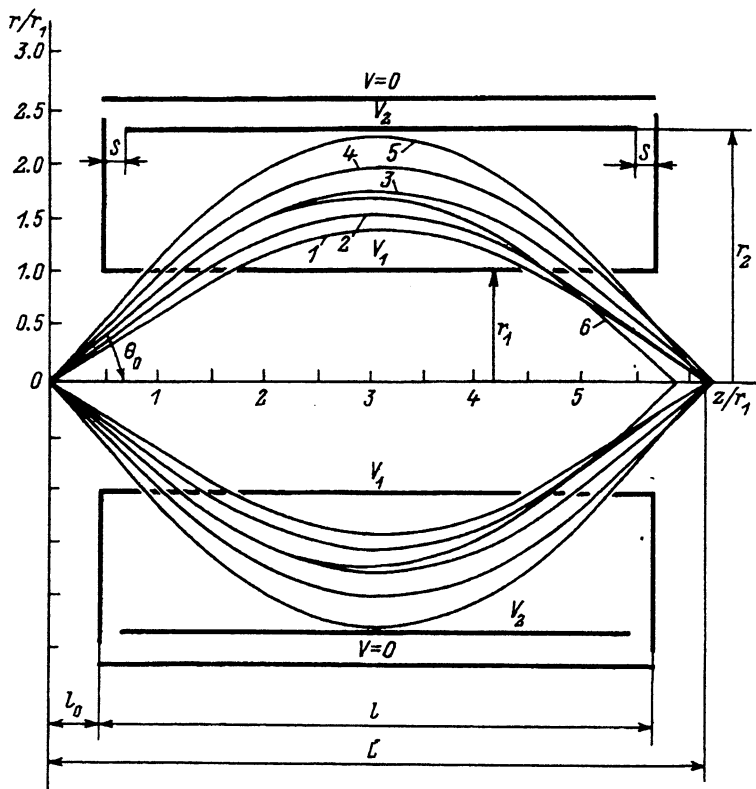


Рис. 2. Траектории пучка заряженных частиц в ЦЭАТ с закрытыми торцами для оптимальной геометрии и режима работы с входными углами.

1-5 — энергия настройки анализатора, 6 — энергия на 5% меньше; θ_0 , град: 1 — 30, 2 — 34, 3, 6 — 38.8, 4 — 43, 5 — 47.5.

ЦЗАТ					ЦЗА			
$r_2/r_1 = 2.3, F = -0.662$					$r_2/r_1 = 2.3, F = -0.637$			
Номер траектории	θ_0°	r_{\max}	z_n	L	θ_0°	r_{\max}	z_n	L
1	30	1.38	3.12	6.23	34	1.50	3.08	6.18
2	34	1.52	3.10	6.16	38	1.64	3.07	6.14
3	38.8	1.73	3.09	6.17	42.3	1.81	3.07	6.13
4	43	1.96	3.11	6.23	47	2.02	3.06	6.12
5	47.5	2.23	3.09	6.14	51	2.21	3.05	6.09
	$F = -0.697$				$F = -0.671$			
6	38.8	1.68	2.97	5.88	42.3	1.76	2.93	5.86

Из таблицы видно, что при угле раствора пучка $\theta_0 = 47.5-30^\circ = 17.5^\circ$ абберационное расширение изображения составляет $\Delta L = 0.09r_1$, т.е. результат аналогичен классическому ЦЗА.

Линейная дисперсия по энергии

$$D = \Delta L \frac{\varepsilon}{\Delta \varepsilon},$$

полученная для центральной траектории с $\theta_0 = 38.8^\circ$ (см. траектории 1, 6), составляет $D = 5.8r_1$, известно, что для ЦЗА она равна $D = 5.6r_1$.

Таким образом, по основным параметрам энергоанализатора разрешающей способности и светосиле рассчитанный цилиндрический зеркальный анализатор с закрытыми торцами не уступает классическому ЦЗА с фокусировкой второго порядка при одинаковых поперечных и продольных размерах обоих энергоанализаторов.

Список литературы

- [1] *Зашквара В.В., Корсунский М.И., Космачев О.С.* // ЖТФ. 1966. Т. 36. Вып. 1. С. 132-138.
- [2] *Овсянникова Л.П., Пасовец С.В., Фишкова Т.Я.* // ЖТФ. 1992. Т. 62. Вып. 12. С. 171-176.
- [3] *Афанасьев В.П., Явор С.Я.* Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц. М.: Наука, 1978. С. 93, 130.