

## ХРОМАТИЧЕСКИЕ АБЕРРАЦИИ ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫХ ТРАНСАКСИАЛЬНЫХ ЗЕРКАЛ

Л. Г. Бейзина, С. П. Карецкая

В работах [1, 2] приведены кардинальные элементы и коэффициенты геометрических aberrаций электростатических трехэлектродных трансаксиальных зеркал с двухпластинными электродами, которые разделяют по энергии и фокусируют параллельные и расходящиеся пучки заряженных частиц. Рассмотрены как вогнутые, так и выпуклые зеркала. Найдены условия, при которых достигается стигматичная фокусировка второго порядка по углам расходимости пучка в двух взаимно ортогональных направлениях. В настоящей работе приводятся коэффициенты хроматических aberrаций этих зеркал.

На рис. 1, 2 представлены значения коэффициентов линейных хроматических aberrаций  $K_{7F}$ — $K_{9F}$  в фокальной плоскости трехэлектродных вогнутых и выпуклых зеркал с  $R_1=20$ ,  $l=1.2$  (кривые 1), 1.5 (кривые 2), 2.0 (кривые 3) при  $a/R_1=0.6$  и  $\varphi_3=0.25$  в зависимости от  $\varphi_2$ .  $R_1$  — радиус первой по ходу пучка кольцевой щели между электродами,  $l$  — ширина промежуточного электрода,  $\varphi_2$  — его потенциал,  $\varphi_3$  — потенциал третьего по ходу пучка электрода. Единицей измерения потенциала служит потенциал  $\varphi_1$  первого электрода, единицей длины — расстояние  $d$  между пластинами, образующими отдельный электрод ( $\varphi_1=1$ ,  $d=1$ ). Хроматическую поправку в фокальной плоскости можно найти по формуле

$$\Delta_{xp} = K_{7F}x'_0\varepsilon_0 + K_{8F}x_a\varepsilon_0 + K_{9F}\varepsilon_0^2,$$

где  $x'_0$  — тангенс угла наклона смежной траектории к осевой;  $x_a$  — ее координата в плоскости диафрагмы;  $\varepsilon_0=\varepsilon/\varphi_1$  — относительное отклонение энергии частицы, движущейся по этой траектории, от основной энергии.

Приведенный на рис. 1, 2 коэффициент  $K_{7F}$  вычислен для случая, когда диафрагма расположена на входе в поле при  $r=R_1-3$  для вогнутого и  $r=R_2+3$  для выпуклого зеркал. Коэффициенты  $K_{8F}$  и  $K_{9F}$  от положения диафрагмы не зависят.

Т а б л и ц а 1

Зеркала для коллиматоров и камер спектрометров

Тип зеркала	$R_1$ ( $R_2$ )	$\alpha$ , град	$l$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$D'_1$	$K_{7F}$	$K_{8F}$	$K_{9F}$
Вогнутое	20	140.0	1.141	0.2014	0.0600	0.628	-2.4	-0.20	-5.5
		130.0	1.130	0.2816	0.1490	0.843	-4.4	-0.43	-2.8
		120.0	1.121	0.3754	0.2520	1.12	-12	-0.14	1.0
		110.0	1.113	0.4827	0.3680	1.55	-20	-0.24	1.6
		100.0	1.183	0.5971	0.4659	2.27	-31	-0.99	-1.8
	30	130.0	1.155	0.2476	0.1060	0.474	-20	0.60	7.9
		120.0	1.144	0.3359	0.2080	0.620	-15	0.18	4.3
		110.0	1.140	0.4275	0.3100	0.797	-29	0.73	9.5
		100.0	1.131	0.5297	0.4250	1.06	-33	0.59	8.2
		90.0	1.171	0.4818	0.3700	0.510	-63	1.4	20
	50	90.0	1.158	0.5789	0.4840	0.651	-64	1.4	18
		80.0	1.155	0.6754	0.5940	0.872	-68	1.4	15
Выпуклое	7	-90.0	1.315	0.3046	0.2067	1.65	69	7.0	-2.9
		-80.0	1.339	0.3670	0.2729	1.48	69	7.1	-11
	10	-90.0	1.289	0.3438	0.2517	1.38	61	5.3	-2.7
		-80.0	1.311	0.4091	0.3233	1.27	63	5.5	-10
	20	-90.0	1.253	0.4052	0.3258	0.994	63	3.6	0.38
		-80.0	1.265	0.4793	0.4043	0.925	53	3.3	-6.2
		-70.0	1.291	0.5493	0.4851	0.905	62	3.9	-15
	30	-80.0	1.246	0.5096	0.4409	0.766	57	2.7	-3.8
		-70.0	1.263	0.5841	0.5237	0.740	54	2.7	-9.8
	40	-70.0	1.247	0.6036	0.5462	0.641	54	2.3	-7.4
	50	-70.0	1.238	0.6156	0.5611	0.578	55	2.0	-6.6

Сравнение поведения коэффициентов  $K_{7F}-K_{9F}$  на рис. 1 и 2 с поведением этих же коэффициентов в двухэлектродных зеркалах [3] показывает, что введение третьего электрода значительно расширяет диапазон принимаемых ими значений, они могут быть отрицательными, положительными и равными нулю. Появляется возможность при необходимости, варьируя  $l$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ , найти системы, формирующие стигматичное изображение, у которых коэффициенты

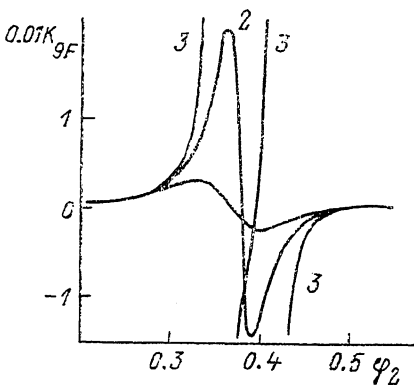
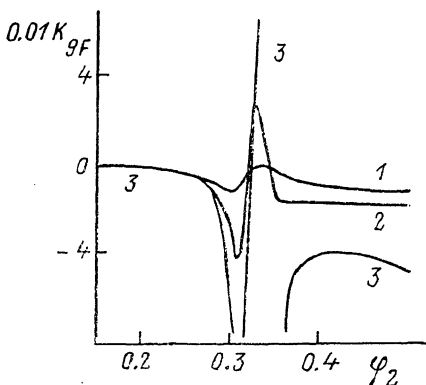
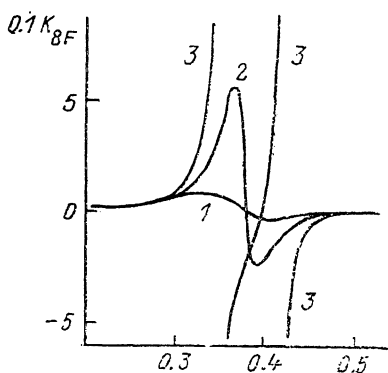
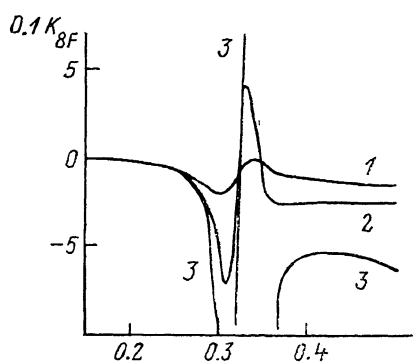
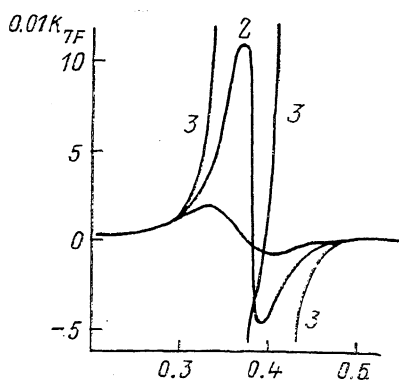
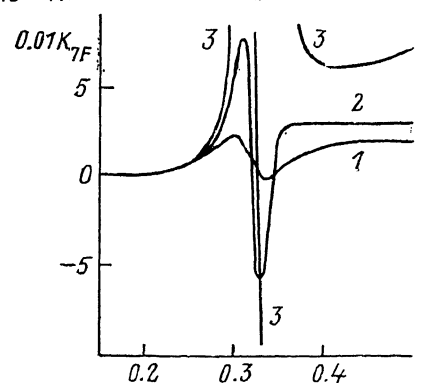


Рис. 1. Коэффициенты хроматических aberrаций трехэлектродных вогнутых зеркал.

Рис. 2. Коэффициенты хроматических aberrаций трехэлектродных выпуклых зеркал.

$K_{7F}-K_{9F}$  имеют нужную величину и знак. По известным  $K_{7F}-K_{9F}$ , пользуясь простыми формулами, приведенными в [3], можно для этих зеркал легко вычислить коэффициенты линейных хроматических aberrаций  $K_{71}-K_{91}$  в произвольной плоскости пространства изображений и коэффициенты угловых хроматических aberrаций  $K'_{71}-K'_{91}$  в этом пространстве.

В табл. 1 даны значения коэффициентов  $K_{7F}-K_{9F}$  трехэлектродных вогнутых и выпуклых зеркал, которые фокусируют объемный параллельный пучок в точку без сферической aberrации второго порядка в направлении дисперсии. Такие зеркала пригодны для использования в коллиматорах и камерах спектрометров различного назначения. В табл. 1 приведены также угол отклонения  $\alpha$  осевой траектории пучка и угловая дисперсия по энергии  $D'_1$ . Для вогнутых зеркал указан радиус  $R_1$  первой по ходу пучка кольцевой щели между электродами, для

Таблица 2  
Зеркала для энергоанализаторов

Тип зеркала	$R_1$ ( $R_2$ )	$\alpha$ , град	$l$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$D_1$	$K_{71}$	$K_{81}$	$K_{91}$
Вогнутое	20	120.0	1.117	0.3931	0.2846	13.7	39	-5.9	-36
		110.0	1.085	0.5077	0.4079	12.2	29	-9.0	-38
	30	120.0	1.145	0.3477	0.2382	15.1	49	-3.3	-33
		110.0	1.126	0.4436	0.3417	14.5	40	-4.0	-27
		100.0	1.103	0.5472	0.4564	13.4	32	-5.7	-27
		90.0	1.070	0.6602	0.5826	11.5	25	-11	-38
	50	120.0	1.163	0.3190	0.2089	15.9	57	-1.9	-33
		110.0	1.150	0.4049	0.3014	15.9	49	-2.0	-24
		100.0	1.137	0.4969	0.4038	15.7	42	-2.5	-19
		90.0	1.121	0.5928	0.5125	15.0	36	-3.3	-18
		80.0	1.098	0.6904	0.6239	13.6	30	-5.5	-22
	Выпуклое	7	-90.0	1.313	0.3124	0.2052	25.8	170	10
-80.0			1.339	0.3684	0.2727	40.1	330	12	-14
10		-110.0	1.270	0.2350	0.1226	18.6	100	7.7	25
		-100.0	1.272	0.2923	0.1824	21.3	120	7.3	12
		-90.0	1.286	0.3512	0.2501	27.4	160	7.6	0.91
30		-80.0	1.311	0.4113	0.3229	42.0	310	9.2	-13
		-110.0	1.215	0.3041	0.1949	18.5	84	2.7	22
		-100.0	1.217	0.3732	0.2718	20.9	86	2.7	12
		-90.0	1.226	0.4442	0.3542	24.8	100	2.9	4.8
50		-80.0	1.240	0.5152	0.4390	31.4	140	3.3	-2.7
		-120.0	1.209	0.2550	0.1439	17.2	77	1.7	35
		-100.0	1.202	0.3966	0.2972	20.2	76	1.7	13
		-80.0	1.217	0.5466	0.4723	27.3	100	2.1	0.14
		-70.0	1.232	0.6199	0.5596	34.6	150	2.5	-6.6

выпуклых — радиус  $R_2$  второй щели. Фокусные расстояния в средней плоскости и в перпендикулярном к ней направлении, коэффициенты линейных геометрических aberrаций второго порядка, максимальную глубину проникновения заряженных частиц в электрическое поле и другие характеристики этих зеркал можно найти в табл. 1, 2 работы [2].

Коэффициенты линейных хроматических aberrаций  $K_{71}$ — $K_{91}$  трехэлектродных вогнутых и выпуклых зеркал, формирующих стигматичное изображение объекта с линейным увеличением  $-1$ , приведены в табл. 2. Как уже отмечалось ранее, такие зеркала могут успешно использоваться в качестве энергоанализаторов. Потенциалы  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  и ширина  $l$  промежуточного электрода у них подобраны так, что оба коэффициента, определяющие сферическую aberrацию второго порядка в направлении дисперсии,  $\leq 10^{-3}$ . Все остальные необходимые сведения об этих зеркалах даны в табл. 3 и 4 работы [2].

Приведенные здесь результаты расчета коэффициентов хроматических aberrаций трехэлектродных трансаксиальных зеркал необходимо принимать во внимание при работе с пучками заряженных частиц, имеющих большой разброс по энергии.

### Список литературы

- [1] Бейзина Л. Г., Каречкая С. П. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 5. С. 877—883.
- [2] Бейзина Л. Г., Каречкая С. П. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 5. С. 870—876.
- [3] Бейзина Л. Г., Каречкая С. П. // ЖТФ. 1991. Т. 61. Вып. 7. С. 171—175.

Институт ядерной физики КазССР  
Алма-Ата

Поступило в Редакцию  
3 августа 1990 г.