

静电透镜与磁偏转器的复合系统的 电子光学性质和象差理论*

西 门 纪 业

提 要

本文将文献[1]的方法和结果加以推广,研究了旋转对称静电透镜和磁偏转器的复合系统.给出了场和轨迹的普遍表达式,讨论了高斯光学性质,得出了这种系统普遍的三级象差和象差系数的公式.这两篇文章有助于较全面地研究各种电子束管和电子光学仪器的偏转象差.

引 言

在文献[1]中,研究了旋转对称磁透镜和磁偏转器的复合系统(简称磁的复合系统).这适用于磁聚焦的电子光学仪器,例如电子探针、扫描电镜和电子束加工机等.但是,在某些电子束管,例如黑白显象管和微光点管¹⁾中采用旋转对称静电聚焦透镜,而静电透镜也可能处在偏转磁场中.又如采用精密直线排列自会聚电子枪的彩色显象管中,也涉及静电透镜与磁偏转器两种场的迭加²⁾.因此,电子束管生产试制的需要,促使我们进一步讨论旋转对称静电透镜和磁偏转器的复合系统(简称电的复合系统).

本文采用的符号,表示方法与文献[1]相同,即利用向量形式描写电子轨迹,给出了场和轨迹的普遍表达式,讨论了高斯光学性质;运用变分原理(费马原理)计算了三级象差及象差系数.它们以矩阵形式表出,形式简洁,便于进行数值计算.但是,本文和文献[1]所讨论的聚焦系统是不同的,文献[1]是讨论磁聚焦透镜,所以轴上旋转对称磁场 $B_0 = B_0(z)$,而轴上电位 $V_0 = \text{常数}$;本文则是讨论静电聚焦透镜,轴上电位 $V_0 = V_0(z)$,而不存在旋转对称磁场 $B_0 = 0$.

一、旋转对称电场和磁偏转场的复合系统场的 普遍表达式及轨迹方程

设旋转对称电场轴上电位分布为 $V_0 = V(z)$,则空间的电位分布为

$$\varphi(x, y, z) = V(z) - \frac{1}{4} V''(z)(x^2 + y^2) + \frac{1}{64} V''''(z)(x^2 + y^2)^2 - \cdots \quad (1.1)$$

x 方向偏转器和 y 方向偏转器分别通有电流 I_x, I_y , 由偏转磁场的对称性可得

* 1976 年 5 月 13 日收到.

1) 微光点管是一种高分辨率的显示管.

2) 这种彩色显象管中,由于采用精密直线排列自会聚电子枪, PST 线圈,静态会聚-色纯度调节磁环等部件,因此场的结构比较复杂,有些方面超出本文讨论的范围.

$$B_x(x, y, z) = \left(B_1 - \frac{1}{2} x^2 B_1'' - x^2 B_2 + y^2 B_2 \right) I_x + 2xy B_2 I_y + \dots, \quad (1.2)$$

$$B_y(x, y, z) = \left(B_1 - \frac{1}{2} y^2 B_1'' - y^2 B_2 + x^2 B_2 \right) I_y + 2xy B_2 I_x + \dots, \quad (1.3)$$

$$B_z(x, y, z) = x B_1' I_x + y B_1' I_y + \dots, \quad (1.4)$$

式中上撇号是对 z 求微商, $B_1 = B_1(z)$ 是偏转磁场的轴上分布函数, $B_2 = B_2(z)$ 是表征偏转磁场横向变化的场分布函数.

应该指出,在文献[1]中对偏转器作了一个假定,即 x, y 方向的两对偏转器几何形状完全相同. 这是基本上适合于视象管、储存管和电子束布线机等情况. 对于黑白显象管, x, y 方向的两对偏转器虽然几何形状不同,但是测量得出的磁场分布函数,其绝对值可能有所不同,而曲线的相对形状彼此相似. 具体地说, x 方向偏转器的 $B_1(z)/B_{1\max}, B_2(z)/B_{2\max}$ 曲线对应地与 y 方向偏转器的 $B_1(z)/B_{1\max}, B_2(z)/B_{2\max}$ 曲线彼此相似. 因此,本文的(1.2)至(1.4)式中假定对于 x, y 两方向偏转器都可以采用相同的 $B_1(z), B_2(z)$ 来描写偏转场. 显然这一假定既符合文献[1]所讨论的情况,又能概括更普遍的情况.

现在引进电流向量 I 及其正交向量 I

$$I = (I_x, I_y), \quad I = (-I_y, I_x), \quad (1.5)$$

则磁场的垂直于 z 轴的分量 $B_\perp$ 和沿着 z 轴的分量 B_z 可以由(1.2)至(1.4)式变换成以下表达式:

$$\begin{aligned} B_\perp = (B_x, B_y) &= B_1 I - \frac{1}{4} B_1'' (\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}) I \\ &\mp 2B_2 xy I \mp \left(\frac{B_1'}{4} + B_2 \right) (x^2 - y^2) I + \dots, \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$B_z = B_1' (\mathbf{r} \cdot I) + \dots, \quad (1.7)$$

式中负正号($\mp$), 对于 x 分量取上面的符号, 对于 y 分量取下面的符号. 空间磁场向量 $B = (B_x, B_y, B_z)$.

在非相对论情况下,采用平面向量 $\mathbf{r} = (x, y)$ 描写轨迹,则复合系统中,普遍轨迹方程为^[2]

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}} \frac{d}{dz} \left(\varphi^{\frac{1}{2}} \frac{\mathbf{K} + \mathbf{r}'}{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}} \right) - \frac{\partial \varphi^{\frac{1}{2}}}{\partial \mathbf{r}} - \mathbf{K} \frac{\partial \varphi^{\frac{1}{2}}}{\partial z} \\ + \frac{\sqrt{\eta}}{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}} [(\mathbf{K} + \mathbf{r}') \times \mathbf{B}] = 0. \end{aligned} \quad (1.8)$$

由于采用高斯单位制,式中 $\eta = \frac{e}{2m_0 c_0^2}$, e 是电子电荷绝对值, m_0 是电子静止质量, c_0 是真空中光速. 还有 $\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ 是求梯度的算符.

考虑到旋转对称电场的性质,可将 $\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}}$ 换成另一形式:

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} = 2\mathbf{r} \frac{\partial}{\partial r^2}, \quad (1.9)$$

式中 $\partial/\partial r^2$ 是一个标量算符, $r^2 = x^2 + y^2$.

于是垂直于 z 轴的 xy 平面中轨迹方程为

$$\frac{d}{dz} \left(\varphi^{\frac{1}{2}} \frac{\mathbf{r}'}{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}} \right) - \frac{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}}{\varphi^{1/2}} \mathbf{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r^2} + \sqrt{\eta} [\mathbf{B}_{\perp} - \mathbf{r}' B_z] = 0. \quad (1.10)$$

沿 z 轴方向即沿 $\mathbf{K}$ (z 轴正方向单位向量) 方向的轨迹分量方程为

$$\frac{d}{dz} \left(\varphi^{\frac{1}{2}} / \sqrt{1 + \mathbf{r}'^2} \right) - \frac{\sqrt{1 + \mathbf{r}'^2}}{2\varphi^{1/2}} \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sqrt{\eta} (\mathbf{r}' \times \mathbf{B}_{\perp}) = 0. \quad (1.11)$$

利用上式将(1.10)式变换成便于求解的形式:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}'' + \frac{1 + \mathbf{r}'^2}{2\varphi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) \mathbf{r}' - \frac{1 + \mathbf{r}'^2}{\varphi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r^2} \right) \mathbf{r} \\ + \sqrt{\eta} \cdot \sqrt{\frac{1 + \mathbf{r}'^2}{\varphi}} [\mathbf{B}_{\perp} - \mathbf{r}' B_z - (\mathbf{r}' \times \mathbf{B}_{\perp}) \mathbf{r}'] = 0. \end{aligned} \quad (1.12)$$

以上各式中符号下有“ $\sim$ ”的向量是各该向量的正交向量,可参看(1.5)式.

再将磁场表达式(1.6),(1.7)式代入上式,得到

$$\begin{aligned} \mathbf{r}'' + \frac{1 + \mathbf{r}'^2}{2\varphi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) \mathbf{r}' - \frac{1 + \mathbf{r}'^2}{\varphi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r^2} \right) \mathbf{r} \\ + \sqrt{\eta} \sqrt{\frac{1 + \mathbf{r}'^2}{\varphi}} \left[B_1 \mathbf{l} - \frac{B_1''}{4} (\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}) \mathbf{l} + 2B_2 xy \mathbf{l} \pm \left(\frac{B_1''}{4} + B_2 \right) (x^2 - y^2) \mathbf{l} \right. \\ \left. - B_1' (\mathbf{r} \cdot \mathbf{l}) \mathbf{r}' - B_1' (\mathbf{r}' \times \mathbf{l}) \mathbf{r}' + \dots \right] = 0. \end{aligned} \quad (1.13)$$

这个方程是旋转对称静电透镜与磁偏转器复合系统直到三级的轨迹方程,是以下讨论的出发点.

二、高斯轨迹方程和高斯光学

在轨迹方程(1.13)中忽略三级以上的项,便得到高斯轨迹方程:

$$\mathbf{r}'' + \frac{V'(z)}{2V(z)} \mathbf{r}' + \frac{V''(z)}{4V(z)} \mathbf{r} = - \sqrt{\frac{\eta}{V(z)}} B_1 \mathbf{l}. \quad (2.1)$$

与此对应的齐次方程是

$$\mathbf{r}'' + \frac{V'(z)}{2V(z)} \mathbf{r}' + \frac{V''(z)}{4V(z)} \mathbf{r} = 0. \quad (2.2)$$

这正是旋转对称静电透镜的高斯轨迹方程.

今后高斯轨迹及其斜率一律用 $\mathbf{u}, \mathbf{u}'$ 表示,而直到三级的轨迹及其斜率仍用 $\mathbf{r}, \mathbf{r}'$ 表示,以示区别.

按照电子光学通常的方法引进(2.2)式的下述一对线性无关的特解 r_a, r_b , 它们满足以下初条件:

$$\begin{aligned} r_a(z_a) = 0, \quad r'_a(z_a) = 1; \\ r_b(z_a) = 1, \quad r'_b(z_a) = 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

于是有

$$[V(z)]^{\frac{1}{2}}(r'_\alpha r_\beta - r_\alpha r'_\beta) = \text{常数} = \sqrt{V_a}. \quad (2.4)$$

齐次方程(2.2)的通解为

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}'_a r_\alpha + \mathbf{u}_a r'_\beta, \quad \mathbf{u}' = \mathbf{u}'_a r'_\alpha + \mathbf{u}_a r'_\beta. \quad (2.5)$$

上式中

$$\mathbf{u}'_a = \mathbf{u}'|_{z=z_a}, \quad \mathbf{u}_a = \mathbf{u}|_{z=z_a}. \quad (2.6)$$

非齐次方程(2.1)的通解由改变任意常数法给出,即

$$\mathbf{u} = \mathbf{V} r_\alpha + \mathbf{U} r_\beta, \quad \mathbf{u}' = \mathbf{V}' r'_\alpha + \mathbf{U}' r'_\beta. \quad (2.7)$$

上式中

$$\begin{aligned} \mathbf{V} &= \mathbf{u}'_a + \Delta', \\ \Delta' &= -I \sqrt{\frac{\eta}{V_a}} \int_{z_a}^z B_1(\zeta) r_\beta(\zeta) d\zeta; \end{aligned} \quad (2.8a, b)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{U} &= \mathbf{u}_a + \Delta, \\ \Delta &= I \sqrt{\frac{\eta}{V_a}} \int_{z_a}^z B_1(\zeta) r_\alpha(\zeta) d\zeta. \end{aligned} \quad (2.9a, b)$$

这里从形式上看,可以说 Δ' , Δ 分别代表存在偏转磁场时轨迹初斜率、初位置所受的扰动量。但是,实际上由(2.7)式可见, $\Delta' r'_\alpha + \Delta r_\beta$ 是非齐次高斯轨迹方程(2.1)的一个特解,亦即高斯轨迹所到的 z 处的偏转。

在象平面 z_b 上高斯象点的横向偏转量称为高斯偏转,而 $\Delta(z_b) = (X_b, Y_b)$ 则是约化到物平面上的高斯偏转,利用(2.9)式得到

$$X_b = -\sqrt{\frac{\eta}{V_a}} I_y \mu, \quad Y_b = \sqrt{\frac{\eta}{V_a}} I_x \mu. \quad (2.10)$$

上式中

$$\mu = \int_{z_a}^{z_b} B_1(\zeta) r_\alpha(\zeta) d\zeta. \quad (2.11)$$

可见 $\sqrt{\eta/V_a} \mu$ 是偏转灵敏度,而 μ 则是正比于偏转灵敏度。

由此可见,在一级近似下,偏转磁场不破坏静电透镜的理想成像性质,仅引起整个高斯象有相同的横向偏转,且放大率保持常数,因而没有畸变。这就是电的复合系统的高斯光学性质。

利用 X_b, Y_b 将扰动量 Δ', Δ 化为以下形式:

$$\Delta' = (X_b X', Y_b Y'), \quad \Delta = (X_b X, Y_b Y). \quad (2.12)$$

代入(2.8a)和(2.9a)式,得到

$$\mathbf{V} = (x'_a + X_b X', y'_a + Y_b Y'), \quad (2.13a)$$

$$\mathbf{U} = (x_a + X_b X, y_a + Y_b Y). \quad (2.13b)$$

下面计算象差时需要利用(2.7)式和(2.10)至(2.13)各式。

三、电的复合系统中的变分函数和欧拉方程

我们采用变分原理(费马原理)来计算三级象差,为此引进变分函数:

$$F = F_0 + F_2 + F_4, \quad (3.1)$$

式中

$$F_0 = 2N; \quad (3.2)$$

$$F_2 = N(\mathbf{r}' \cdot \mathbf{r}') - M(\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}) + \sqrt{\eta} B_1(xI_y - yI_x); \quad (3.3)$$

$$F_4 = F_{4c} + F_{4D};$$

$$F_{4c} = - \left[\frac{1}{4} L(\mathbf{r} \cdot \mathbf{r})^2 + \frac{1}{2} M(\mathbf{r} \cdot \mathbf{r})(\mathbf{r}' \cdot \mathbf{r}') + \frac{1}{4} N(\mathbf{r}' \cdot \mathbf{r}')^2 \right];$$

$$F_{4D} = \sqrt{\eta} I_x \left[-\frac{1}{2} B_1' x^2 y' + B_2 x^2 y - \frac{1}{3} B_2 y^3 \right] \quad (3.4a, b, c)$$

$$+ \sqrt{\eta} I_y \left[\frac{1}{2} B_1' x' y^2 - B_2 x y^2 + \frac{1}{3} B_2 x^3 \right].$$

以上各式中,

$$N = \frac{1}{2} [V(z)]^{\frac{1}{2}}, \quad M = \frac{1}{8} \frac{V''(z)}{V^{1/2}(z)},$$

$$L = \frac{1}{32} \left\{ \frac{[V''(z)]^2}{V^{3/2}(z)} - \frac{V'''(z)}{V^{1/2}(z)} \right\}. \quad (3.5)$$

于是变分问题 $\int_{z_a}^z F dz \rightarrow$ 极值的欧拉方程为

$$\frac{d}{dz} \left[\frac{\partial(F_2 + F_4)}{\partial \mathbf{r}'} \right] - \frac{\partial(F_2 + F_4)}{\partial \mathbf{r}} = 0. \quad (3.6)$$

只需将(3.3), (3.4)式代入上式, 不难验证(3.6)和(1.13)式完全相同, 现将上式中一级和三级项分开, 可以求出三级象差方程:

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{\partial F_2}{\partial \mathbf{r}'} \right) - \frac{\partial F_2}{\partial \mathbf{r}} = - \left[\frac{d}{dz} \left(\frac{\partial F_4}{\partial \mathbf{r}'} \right) - \frac{\partial F_4}{\partial \mathbf{r}} \right] = -T_3. \quad (3.7)$$

上式的 F_2 若用 (3.3) 式代入后可以看出, 上式右端为零的齐次方程正是高斯轨迹方程 (2.1). 然后将上式右端的三级象差微扰函数 $-T_3$ 中的 $\mathbf{r}, \mathbf{r}'$ 用高斯轨迹及其斜率 $\mathbf{u}, \mathbf{u}'$ [见(2.7)式] 代入, 则得到一个对应的非齐次方程, 可以用改变随意常数法求解. 这样, 在象平面 z_b 处, $r_a(z_b) = 0, r_b(z_b) = m$, (m 为放大率), 对应的三级象差公式如下:

$$\frac{\Delta \mathbf{u}_{3b}}{m} = - \frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} \left[\frac{\partial F_4}{\partial \mathbf{V}} \right]_g d\zeta$$

$$= - \frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} \left[\frac{\partial F_{4c}}{\partial \mathbf{V}} + \frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}} \right]_g d\zeta. \quad (3.8)$$

上式中 g 足标表示取高斯值. 首先, 将(3.4b)式中的 $\mathbf{r}, \mathbf{r}'$ 换成高斯值 $\mathbf{u}, \mathbf{u}'$, 得出

$$F_{4c} = - \left[\frac{1}{4} L(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})^2 + \frac{1}{2} M(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})(\mathbf{u}' \cdot \mathbf{u}') + \frac{1}{4} N(\mathbf{u}' \cdot \mathbf{u}')^2 \right]. \quad (3.9)$$

其次, 引进 x, y 方向单位向量:

$$\mathbf{W} = (1, 0), \quad \bar{\mathbf{W}} = (0, 1). \quad (3.10)$$

于是(3.4c)式中的 x, y, x', y' 可换成高斯值 $\mathbf{u}, \mathbf{u}'$, 得出:

$$x = (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u}), \quad x' = (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u}');$$

$$y = (\bar{\mathbf{W}} \cdot \mathbf{u}), \quad y' = (\bar{\mathbf{W}} \cdot \mathbf{u}'). \quad (3.11)$$

这样, F_{4D} 可以表示如下:

$$F_{4D} = \sqrt{\eta} I_x \left\{ -\frac{1}{2} B_1' (\mathbf{W} \times \mathbf{u}') (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})^2 + B_2 (\mathbf{W} \times \mathbf{u}) (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})^2 \right.$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{3} B_2(\mathbf{W} \times \mathbf{u})^3 \} + \sqrt{\eta} I, \left\{ \frac{1}{2} B_1'(\mathbf{W} \cdot \mathbf{u}')(\mathbf{W} \times \mathbf{u})^2 \right. \\
& \left. - B_2(\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})(\mathbf{W} \times \mathbf{u})^2 + \frac{1}{3} B_2(\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})^3 \right\}. \quad (3.12)
\end{aligned}$$

(3.8), (3.9) 和 (3.12) 三式是计算电的复合系统三级象差的基本公式.

四、计算 $-F_{4C}$ 及 $-\frac{\partial F_{4C}}{\partial \mathbf{V}}$ 代表的三级象差

利用 (2.7) 式代入 (3.9) 式, 得到 $-F_{4C}$:

$$\begin{aligned}
-F_{4C} = & \frac{1}{4} A(\mathbf{U} \cdot \mathbf{U})^2 + \frac{1}{4} B(\mathbf{V} \cdot \mathbf{V})^2 + \frac{1}{2} C(\mathbf{U} \cdot \mathbf{V})^2 \\
& + \frac{1}{2} D(\mathbf{U} \cdot \mathbf{U})(\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}) + E(\mathbf{U} \cdot \mathbf{U})(\mathbf{U} \cdot \mathbf{V}) \\
& + F(\mathbf{V} \cdot \mathbf{V})(\mathbf{U} \cdot \mathbf{V}), \quad (4.1)
\end{aligned}$$

其中 A, B, C, D, E, F 等系数如下所示:

$$\begin{aligned}
A = & Lr_\beta^4 + 2Mr_\beta^2r_\beta'^2 + Nr_\beta^4, \\
B = & Lr_\alpha^4 + 2Mr_\alpha^2r_\alpha'^2 + Nr_\alpha^4, \\
C = & 2[Lr_\beta^2r_\alpha^2 + 2Mr_\alpha r_\beta r_\alpha' r_\beta' + Nr_\alpha^2r_\beta^2], \\
D = & Lr_\beta^2r_\alpha^2 + M(r_\beta^2r_\alpha^2 + r_\beta'^2r_\alpha^2) + N(r_\alpha' r_\beta')^2, \\
E = & Lr_\beta^3r_\alpha + Mr_\beta r_\beta'(r_\beta r_\alpha)' + Nr_\beta^3r_\alpha', \\
F = & Lr_\beta r_\alpha^3 + Mr_\alpha r_\alpha'(r_\alpha r_\beta)' + Nr_\alpha^3r_\beta'. \quad (4.2)
\end{aligned}$$

将 (4.1) 式对 $\mathbf{V}$ 求梯度得到

$$\begin{aligned}
-\frac{\partial F_{4C}}{\partial \mathbf{V}} = & (\mathbf{V} \cdot \mathbf{V})(B\mathbf{V} + F\mathbf{U}) + (\mathbf{U} \cdot \mathbf{V})(2F\mathbf{V} + C\mathbf{U}) \\
& + (\mathbf{U} \cdot \mathbf{U})(D\mathbf{V} + E\mathbf{U}). \quad (4.3)
\end{aligned}$$

上述结果可以用矩阵形式表出:

$$-\frac{\partial F_{4C}}{\partial \mathbf{V}} = [\mathbf{V} \cdot \mathbf{V} \quad \mathbf{U} \cdot \mathbf{V} \quad \mathbf{U} \cdot \mathbf{U}] \begin{bmatrix} B & F \\ 2F & C \\ D & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \mathbf{U} \end{bmatrix}. \quad (4.4)$$

上式就是 $-\partial F_{4C}/\partial \mathbf{V}$ 所代表的三级象差. 然后利用 (2.13a, b) 式代入 (4.4) 式, 可将三级象差按照 $(x'_a, y'_a, x_a, y_a), (X_b, Y_b)$ 的不同方次加以分类. 下面用 $[M_{m \times n}]$ 表示 $m \times n$ 矩阵, $[M_{m \times n}]^*$ 表示它的转置矩阵; 定义 $\{[M]\}_a^b$ 或 $[M]_a^b$ 表示对该矩阵的每项在 $[z_a, z_b]$ 区间上求积分.

1. 旋转对称静电透镜的三级象差

(4.4) 式中和 X_b, Y_b 无关的象差就是旋转对称静电透镜的三级象差, 它们可写成如下形式:

$$\frac{1}{\sqrt{V_a}} \begin{bmatrix} \mathbf{u}'_a \cdot \mathbf{u}'_a \\ \mathbf{u}_a \cdot \mathbf{u}'_a \\ \mathbf{u}_a \cdot \mathbf{u}_a \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} B & F \\ 2F & C \\ D & E \end{bmatrix}_a \begin{bmatrix} \mathbf{u}'_a \\ \mathbf{u}_a \end{bmatrix}. \quad (4.5)$$

这里 $\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} B dz$ 是球差系数, $\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} F dz$ 是彗差系数, $\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} C dz$ 和 $\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} D dz$ 是场曲象散系数, $\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} E dz$ 是畸变系数, 它们和文献[3]的象差系数公式完全一致.

2. 旋转对称电场和偏转磁场相互作用的三级象差

(4.4)式中除(4.5)式外的其余象差就是旋转对称电场和偏转磁场相互作用的三级象差. 引用附录的展开式,并引进下述矩阵:

$$[M_{2 \times 1}] = \begin{bmatrix} X' \\ X \end{bmatrix}, [M_{2 \times 6}] = \begin{bmatrix} X'^2 & 0 & XX' & 0 & X^2 & 0 \\ 0 & Y'^2 & 0 & YY' & 0 & Y^2 \end{bmatrix},$$

$$[M_{4 \times 6}] = \begin{bmatrix} 2X' & 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2Y' & 0 & Y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X' & 0 & 2X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Y' & 0 & 2Y \end{bmatrix}, [M_{6 \times 2}] = \begin{bmatrix} B & F \\ B & F \\ 2F & C \\ 2F & C \\ D & E \\ D & E \end{bmatrix}. \quad (4.6)$$

这部分三级象差可以分成以下三类.

(1) 偏转彗差以及类似的象差,即与 (x'_a, y'_a, x_a, y_a) 二次方及 (X_b, Y_b) 一次方成正比的项;象差系数中只有 (X, Y, X', Y') 一次方项,包括下述各项:

$$\frac{1}{\sqrt{V_a}} [x_a'^2, y_a'^2, x'_a x_a, y'_a y_a, x_a^2, y_a^2] \{ [M_{6 \times 2}] \times [M_{2 \times 1}] \}_a^b X_b$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{V_a}} [x'_a X_b, y'_a Y_b, x_a X_b, y_a Y_b] \{ [M_{4 \times 6}] \times [M_{6 \times 2}] \}_a^b \begin{bmatrix} x'_a \\ x_a \end{bmatrix}. \quad (4.7)$$

(2) 偏转场曲象散以及类似的象差,即与 (x'_a, y'_a, x_a, y_a) 一次方及 (X_b, Y_b) 二次方成正比的项;象差系数中只有 (X, Y, X', Y') 二次方项,包括下述各项:

$$\frac{1}{\sqrt{V_a}} [x'_a X_b, y'_a Y_b, x_a X_b, y_a Y_b] \{ [M_{4 \times 6}] \times [M_{6 \times 2}] \times [M_{2 \times 1}] \}_a^b X_b$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{V_a}} [X_b^2, Y_b^2] \{ [M_{2 \times 6}] \times [M_{6 \times 2}] \}_a^b \begin{bmatrix} x'_a \\ x_a \end{bmatrix}. \quad (4.8)$$

(3) 偏转畸变以及类似的象差,即与 (x'_a, y'_a, x_a, y_a) 无关,而只与 (X_b, Y_b) 三次方成正比的项. 象差系数中只有 (X, Y, X', Y') 三次方项. 包括下述各项:

$$\frac{1}{\sqrt{V_a}} [X_b^3, Y_b^3] \{ [M_{2 \times 6}] \times [M_{6 \times 2}] \times [M_{2 \times 1}] \}_a^b X_b. \quad (4.9)$$

(4.7)至(4.9)式只给出 $-\partial F_{4c}/\partial \mathbf{V}$ 所包括的三级偏转象差的 x 方向分量,至于 y 方

向分量只需在以上公式中进行下列变换即可:

$$x_a \rightleftharpoons y_a, x'_a \rightleftharpoons y'_a, X_b \rightleftharpoons Y_b, X \rightleftharpoons Y, X' \rightleftharpoons Y'. \quad (4.10)$$

这意味着以上偏转象差的 x, y 分量是完全对称的, 也即是各向同性的象差, 而没有各向异性的象差。

五、计算 $-F_{4D}$ 及 $-\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}$ 代表的三级象差¹⁾

先将(3.12)式的 F_{4D} 对 $\mathbf{V}$ 求梯度得出:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}} = & \sqrt{\eta} \{ I_x B_2 (\mathbf{W} \times \mathbf{u})^2 \mathbf{W} r_a - I_y B_2 (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})^2 \mathbf{W} r_a \} \\ & - \sqrt{\eta} \left\{ I_x \left(B_2 r_a - \frac{B'_1 r'_a}{2} \right) (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u})^2 \mathbf{W} - I_y \left(B_2 r_a - \frac{B'_1 r'_a}{2} \right) (\mathbf{W} \times \mathbf{u})^2 \mathbf{W} \right\} \\ & + 2\sqrt{\eta} \left\{ I_y \left[\left(B_2 r_a - \frac{B'_1 r'_a}{2} \right) (\mathbf{W} \cdot \mathbf{V}) + \left(B_2 r_\beta - \frac{B'_1 r'_\beta}{2} \right) (\mathbf{W} \cdot \mathbf{U}) \right] (\mathbf{W} \times \mathbf{u}) \mathbf{W} r_a \right. \\ & \left. - I_x \left[\left(B_2 r_a - \frac{B'_1 r'_a}{2} \right) (\mathbf{W} \times \mathbf{V}) + \left(B_2 r_\beta - \frac{B'_1 r'_\beta}{2} \right) (\mathbf{W} \times \mathbf{U}) \right] (\mathbf{W} \cdot \mathbf{u}) \mathbf{W} r_a \right\}. \quad (5.1) \end{aligned}$$

上式可以分成: 第 I 部分(沿着 $\mathbf{W}$ 即 x 方向的分量)与第 II 部分(沿着 $\mathbf{W}$ 即 y 方向的分量)。

$$-\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}} = -\left(\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}\right)_I - \left(\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}\right)_{II}. \quad (5.2)$$

现在首先讨论第 I 部分。为此, 将 $-\left(\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}\right)_I$ 写成矩阵形式

$$-\left(\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}\right)_I = \begin{bmatrix} (\mathbf{W} \cdot \mathbf{V})^2 \\ (\mathbf{W} \times \mathbf{V})^2 \\ (\mathbf{W} \cdot \mathbf{V})(\mathbf{W} \times \mathbf{V}) \\ (\mathbf{W} \cdot \mathbf{V})(\mathbf{W} \cdot \mathbf{U}) \\ (\mathbf{W} \times \mathbf{V})(\mathbf{W} \times \mathbf{U}) \\ (\mathbf{W} \cdot \mathbf{V})(\mathbf{W} \times \mathbf{U}) \\ (\mathbf{W} \times \mathbf{V})(\mathbf{W} \cdot \mathbf{U}) \\ (\mathbf{W} \cdot \mathbf{U})^2 \\ (\mathbf{W} \times \mathbf{U})^2 \\ (\mathbf{W} \cdot \mathbf{U})(\mathbf{W} \times \mathbf{U}) \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} G_{30} & 0 \\ H_{\alpha 20} & 0 \\ 0 & 2H_{\alpha 20} \\ 2G_{21} & 0 \\ 2H_{\alpha 11} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 20} \\ 0 & 2H_{\alpha 11} \\ G_{12} & 0 \\ H_{\alpha 02} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sqrt{\eta} I_y \\ \sqrt{\eta} I_x \end{bmatrix} \mathbf{W} \quad (5.3)$$

上式中

$$\begin{aligned} G_{ij} &= B_2 r_a^i r_\beta^j, \\ H_{\alpha ij} &= \left(\frac{1}{2} B'_1 r_a^i - B_2 r_a^i \right) r_a^j r_\beta^j, \end{aligned} \quad (5.4)$$

1) 本节的计算步骤参看文献[1]。事实上只要在文献[1]第三节中 3) 的有关各式中令 $B_0 = 0, \phi = 0$ 即可。

$$H_{\beta ij} = \left(\frac{1}{2} B'_1 r'_\beta - B_2 r_\beta \right) r_a^i r_\beta^j.$$

利用(2.10)和(2.11)式,则有

$$\begin{bmatrix} -\sqrt{\eta} I_y \\ \sqrt{\eta} I_x \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{V_a}}{\mu} \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \end{bmatrix}. \quad (5.5)$$

按(2.11)式 μ 实际上是表征偏转灵敏度. 再次利用(2.13a,b)式,于是(5.3)式可以写成

$$-\left(\frac{\partial F_{4D}}{\partial \mathbf{V}}\right)_1 = \frac{\sqrt{V_a}}{\mu} \begin{bmatrix} (x'_a + X_b X')^2 \\ (y'_a + Y_b Y')^2 \\ (x'_a + X_b X')(y'_a + Y_b Y') \\ (x'_a + X_b X')(x_a + X_b X) \\ (y'_a + Y_b Y')(y_a + Y_b Y) \\ (x'_a + X_b X')(y_a + Y_b Y) \\ (y'_a + Y_b Y')(x_a + X_b X) \\ (x_a + X_b X)^2 \\ (y_a + Y_b Y)^2 \\ (x_a + X_b X)(y_a + Y_b Y) \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} G_{30} & 0 \\ H_{\alpha 20} & 0 \\ 0 & 2H_{\alpha 20} \\ 2G_{21} & 0 \\ 2H_{\alpha 11} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 20} \\ 0 & 2H_{\alpha 11} \\ G_{12} & 0 \\ H_{\alpha 02} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \end{bmatrix} \mathbf{W}. \quad (5.6)$$

以上展式各项在 $[z_a, z_b]$ 上求积分,并按照第四节的方法分类,即可以得出 $-(\partial F_{4D}/\partial \mathbf{V})_1$ 所代表的三级象差. 在象差系数中出现的矩阵列举如下(参看文献[1](附2)式).

$$[M_{3 \times 10}] = \begin{bmatrix} X'^2 & 0 & 0 & XX' & 0 & 0 & 0 & X^2 & 0 & 0 \\ 0 & Y'^2 & 0 & 0 & YY' & 0 & 0 & 0 & Y^2 & 0 \\ 0 & 0 & X'Y' & 0 & 0 & X'Y & Y'X & 0 & 0 & XY \end{bmatrix}, \quad (5.7a)$$

$$[M_{8 \times 10}] = \begin{bmatrix} 2X' & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2Y' & 0 & 0 & Y & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Y' & 0 & 0 & Y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X' & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X' & 0 & 0 & 0 & 2X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Y' & 0 & 0 & 0 & 2Y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X' & 0 & 0 & 0 & X \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Y' & 0 & 0 & Y \end{bmatrix}, \quad [M_{10 \times 2}] = \begin{bmatrix} G_{30} & 0 \\ H_{\alpha 20} & 0 \\ 0 & 2H_{\alpha 20} \\ 2G_{21} & 0 \\ 2H_{\alpha 11} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 20} \\ 0 & 2H_{\alpha 11} \\ G_{12} & 0 \\ H_{\alpha 02} & 0 \\ 0 & 2H_{\beta 11} \end{bmatrix}. \quad (5.7b,c)$$

1. 偏转彗差

$$\frac{1}{\mu} [x_a'^2, y_a'^2, x_a' y_a', x_a' x_a, y_a' y_a, x_a' y_a, y_a' x_a, x_a^2, y_a^2, x_a y_a] \times [M_{10 \times 2}]_a^b \times \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \end{bmatrix}. \quad (5.8)$$

2. 偏转场曲象散

$$\frac{1}{\mu} [x'_a X_b, y'_a Y_b, x'_a Y_b, y'_a X_b, x_a X_b, y_a Y_b, y_a X_b, x_a Y_b] \times \{[M_{8 \times 10}] \times [M_{10 \times 2}]\}_a^b \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \end{bmatrix}. \quad (5.9)$$

3. 偏转畸变

$$\frac{1}{\mu} [X_b^2, Y_b^2, X_b Y_b] \times \{[M_{3 \times 10}] \times [M_{10 \times 2}]\}_a^b \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \end{bmatrix}. \quad (5.10)$$

以上只是三级偏转象差的 x 方向分量;至于 y 方向分量只需按(4.10)式变换而得;且在此变换中 $[M_{10 \times 2}]$ 保持不变. 这就表明这部分偏转象差的 x, y 分量形式上是相同的. 但是更精细地分析表明, 由于 x, y 方向算出的对应的象差系数一般地是不相等, 因此仍然存在各向异性象差¹⁾.

综合第四、五节所述, 静电透镜与磁偏转器的复合系统的全部象差系由第四节的 $-\partial F_{4c}/\partial \mathbf{V}$ 代表的项与第五节的 $-\partial F_{4D}/\partial \mathbf{V}$ 代表的项总和而得. $-\partial F_{4c}/\partial \mathbf{V}$ 的各项, 除(4.5)式是旋转对称静电透镜象差外, 其余都是旋转对称电场和偏转磁场相互作用产生的三级象差. $-\partial F_{4D}/\partial \mathbf{V}$ 的各项基本上是偏转器的象差, 但是其中包含 r_a, r_b 则体现了旋转对称电场对轨迹的影响.

六、在 $x_a = y_a = 0$ 情况下(即不偏转束打到屏中心时)的偏转象差

电的复合系统最有实际意义的偏转象差是 $x_a = y_a = 0$ 的情况, 即不偏转束打到屏中心上正聚焦的情况. 在此情况下, 旋转对称静电透镜的三级象差只剩下球差一项即 $\left(\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} B dz\right) x_a'^3$ 和 $\left(\frac{1}{\sqrt{V_a}} \int_{z_a}^{z_b} B dz\right) y_a'^3$; 其余都是偏转象差, 可以由第四、五节的有关公式中令 $x_a = y_a = 0$ 而得, 然后将矩阵相乘的结果写成明显的表达式.

1. 偏转彗差以及类似的象差

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{V_a}} \left\{ \int_{z_a}^{z_b} (BX' + FX) dz \right\} (3x_a'^2 + y_a'^2) X_b \\ & + \frac{2}{\sqrt{V_a}} \left\{ \int_{z_a}^{z_b} (BY' + FY) dz \right\} x_a' y_a' Y_b + \frac{1}{\mu} \left\{ x_a'^2 X_b \int_{z_a}^{z_b} G_{30} dz \right. \\ & \left. + y_a'^2 X_b \int_{z_a}^{z_b} H_{\alpha 20} dz + 2x_a' y_a' Y_b \int_{z_a}^{z_b} H_{\alpha 20} dz \right\}. \end{aligned} \quad (6.1)$$

2. 偏转场曲象散以及类似的象差

$$\frac{1}{\sqrt{V_a}} \left\{ x_a' X_b^2 \int_{z_a}^{z_b} (3BX'^2 + 6FXX' + CX^2 + DX^2) dz \right.$$

1) 文献[1]关于各向异性象差的提法也应依此修正.

$$\begin{aligned}
& + y'_a X_b Y_b \int_{z_a}^{z_b} (2BX'Y' + 2FXY' + 2FYX' + CXY) dz \\
& + x'_a Y_b^2 \int_{z_a}^{z_b} (BY'^2 + 2FYY' + DY^2) dz \Big\} + \frac{2}{\mu} \left\{ x'_a X_b^2 \int_{z_a}^{z_b} (X'G_{30} \right. \\
& + XG_{21}) dz + y'_a X_b Y_b \int_{z_a}^{z_b} (X'H_{\alpha 20} + XH_{\alpha 11} + Y'H_{\alpha 20} + YH_{\alpha 11}) dz \\
& \left. + x'_a Y_b^2 \int_{z_a}^{z_b} (Y'H_{\alpha 20} + YH_{\beta 20}) dz \right\}. \quad (6.2)
\end{aligned}$$

3. 偏转畸变以及类似的象差

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\sqrt{V_a}} \left\{ X_b^3 \int_{z_a}^{z_b} [X'^2(BX' + FX) + XX'(2FX' + CX) + X^2(DX' + EX)] dz \right. \\
& + Y_b^3 X_b \int_{z_a}^{z_b} [Y'^2(BX' + FX) + YY'(2FX' + CX) + Y^2(DX' + EX)] dz \Big\} \\
& + \frac{1}{\mu} \left\{ X_b^3 \int_{z_a}^{z_b} (X'^2 G_{30} + 2XX'G_{21} + X^2 G_{12}) dz + Y_b^3 X_b \int_{z_a}^{z_b} [(Y'^2 + 2X'Y')H_{\alpha 20} \right. \\
& \left. + 2(YY' + Y'X)H_{\alpha 11} + Y^2 H_{\alpha 02} + 2X'YH_{\beta 20} + 2XYH_{\beta 11}] dz \right\}. \quad (6.3)
\end{aligned}$$

以上各式只给出偏转象差的 x 方向分量,至于 y 方向分量可以按照(4.10)式变换而得.

综合以上(6.1)至(6.3)式,可以看出,各种象差系数中凡包含 B, C, D, E, F 与 X, X', Y, Y' 相乘的项是代表旋转对称电场与偏转磁场相互作用的象差;而包含 $G_{ij}, H_{\alpha ij}, H_{\beta ij}$ 与 X, X', Y, Y' 相乘的项基本上是磁偏转器象差,但是其中含有 r_α, r_β 则体现了旋转对称电场对轨迹的影响.

在第四至六节中我们用轨迹初条件(x'_a, y'_a, x_a, y_a)和(X_b, Y_b)描写象差.但是,不难换用不存在偏转磁场时到达象平面 z_b 处的轨迹参量(x'_b, y'_b, x_b, y_b)和(X_b, Y_b)来表示象差.事实上,在(2.5)式中令 $z = z_b$. 并注意到 $r_\alpha(z_b) = 0, r_\beta(z_b) = m, r'_\alpha(z_b) = m_\theta, r'_\beta(z_b) = r'_{\beta b}$, 则得出

$$u_a = u_b/m, u'_a = u'_b/m_\theta - u_b \sqrt{\frac{V_b}{V_a}} r'_{\beta b}. \quad (6.4)$$

以上两式代入第四至六节有关各式中,就可以把 $u'_a = (x'_a, y'_a), u_a = (x_a, y_a)$ 换成 $u'_b = (x'_b, y'_b), u_b = (x_b, y_b)$, 并且将明显地包含了放大率 m 和角放大率 m_θ . 这样表示的复合系统的三级象差将更加便于工程计算之用.

七、结 论

我们将文献[1]推广到电的复合系统中,得出以下结果:

1. 给出了电的复合系统场和轨迹的普遍表达式,采用向量形式描写轨迹,讨论了高斯光学性质.
2. 计算了电的复合系统的三级象差,采用矩阵形式表示,便于使用电子计算机进行数值计算. 还给出当不偏转束打到屏中心,即 $x_a = y_a = 0$ 情况下三级象差的具体公式.

3. 计算表明电的复合系统和磁的复合系统不同: $-\partial F_{4c}/\partial \mathbf{V}$ 那部分象差中没有各向异性的象差, 都是各向同性的象差; 而 $-\partial F_{4D}/\partial \mathbf{V}$ 这部分象差中却有各向异性象差。

以上问题迄今为止在文献上未见有全面系统的论述。

本文的结果和文献[1]综合起来, 有助于较全面地研究电子束管采用静电或磁聚焦透镜与磁偏转器的复合系统的三级象差; 既可以分别估算它们各自的象差(即旋转对称静电或磁聚焦透镜的象差和磁偏转器的象差), 又可以估算两种场迭加、相互作用的象差, 从而比较这几类象差的大小和数量级。这些问题是磁偏转器线圈设计中很关键的问题。

但是本文和文献[1]一样, 只限于讨论三级象差。这样在较小偏转角度下($20-25^\circ$ 左右)所得结果比较准确, 在较大偏转角度下($30-40^\circ$ 左右)只能近似地成立, 而在更大偏转角度下(40° 以上)则还须考虑五级象差。由于五级象差公式极其复杂, 我们没有加以讨论。

附 录

现将第四节的(4.4)式展开如下:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V} \cdot \mathbf{V} \\ \mathbf{U} \cdot \mathbf{V} \\ \mathbf{U} \cdot \mathbf{U} \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} B & F \\ 2F & C \\ D & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \mathbf{U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x'_a + X_b X')^2 \\ (y'_a + Y_b Y')^2 \\ (x'_a + X_b X')(x_a + X_b X) \\ (y'_a + Y_b Y')(y_a + Y_b Y) \\ (x_a + X_b X)^2 \\ (y_a + Y_b Y)^2 \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} B & F \\ B & F \\ 2F & C \\ 2F & C \\ D & E \\ D & E \end{bmatrix} \\ \times \left\{ \begin{bmatrix} x'_a + X_b X' \\ x_a + X_b X \end{bmatrix} \mathbf{W} + \begin{bmatrix} y'_a + Y_b Y' \\ y_a + Y_b Y \end{bmatrix} \mathbf{W} \right\}.$$

上式中 $\mathbf{W} = (1, 0)$ 和 $\mathbf{W} = (0, 1)$ 分别是 x, y 方向的单位向量。上式中第一个行矩阵可以展开如下:

$$\begin{bmatrix} (x'_a + X_b X')^2 \\ (y'_a + Y_b Y')^2 \\ (x'_a + X_b X')(x_a + X_b X) \\ (y'_a + Y_b Y')(y_a + Y_b Y) \\ (x_a + X_b X)^2 \\ (y_a + Y_b Y)^2 \end{bmatrix}^* = \begin{bmatrix} x_a'^2 \\ y_a'^2 \\ x_a' x_a \\ y_a' y_a \\ x_a^2 \\ y_a^2 \end{bmatrix}^* + \begin{bmatrix} x_a' X_b \\ y_a' Y_b \\ x_a X_b \\ y_a Y_b \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} 2X' & 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2Y' & 0 & Y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X' & 0 & 2X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Y' & 0 & 2Y \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} X_b^2 \\ Y_b^2 \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} X'^2 & 0 & XX' & 0 & X^2 & 0 \\ 0 & Y'^2 & 0 & YY' & 0 & Y^2 \end{bmatrix}.$$

参 考 文 献

- [1] 西门纪业, 物理学报, 26 (1977), 34.
- [2] O. H. 谢曼, 《电子光学理论基础》(1958年), 高等教育出版社.
- [3] W. Glaser, Grundlagen der Elektronenoptik (1952), Springer, Wien.

THE ELECTRON-OPTICAL CHARACTERS AND ABBERATION THEORY OF A COMBINED SYSTEM CONSISTS OF ELECTROSTATIC ROUND LENS AND MAGNETIC DEFLECTOR

XIMEN JI-YE

ABSTRACT

In this paper, a combined system consists of electrostatic round lens and magnetic deflector with additional superimposed fields is studied. The general power-series expression for magnetic deflection fields, the electron trajectories described in vector form and the Gaussian optical characters of the system are obtained and discussed. Formulae for calculating the third order aberration in such a combined system are given in a compact matrix form, they are appropriate for numerical computational purpose. This paper and the previous work [1] are all concerned with the general theory of a combined electrostatic-magnetic system of electron optics, hence they may be useful for designers of cathode ray tubes and electron optical instruments.