

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ ОДИНОЧНОЙ СКРЕЩЕННОЙ ЛИНЗЫ

Л.А.Баранова, Р.А.Бубляев, С.Я.Явор

При фокусировке пучков заряженных частиц со значительным разбросом по энергии существенную роль играет хроматическая aberrация линз. Так, хроматическую aberrацию следует учитывать уже при фокусировке фотоэлектронов, разброс энергий которых составляет несколько эВ. Еще большую роль она играет в ионно-оптических системах, где разброс начальных энергий ионов может быть значительным и в некоторых источниках новых типов достигать десятков и даже сотен эВ.

В настоящее время в ионных источниках, а также и в других фокусирующих системах находят применение скрещенные линзы. Их хроматическая aberrация до сих пор не изучена. Этому вопросу посвящена данная работа.

Хроматическое размытие изображения для точечного предмета, лежащего на оси в собирающей плоскости скрещенной линзы, описывается следующим выражением:

$$\Delta x = -MCx'_0 \frac{\Delta \Phi}{\Phi}, \quad (1)$$

где M — линейное увеличение линзы, C — коэффициент отверстной хроматической ошибки, x'_0 — тангенс угла наклона траектории на входе в линзу, Φ — ускоряющее напряжение.

Коэффициент C зависит от двух параметров: возбуждения линзы и положения предмета. Его можно представить в виде полинома по степеням обратного увеличения M^{-1} , в котором коэффициенты уже не зависят от положения предмета и определяются только полем линзы $[1,2]$,

$$C = C_0 + C_1(-M)^{-1} + C_2(-M)^{-2}. \quad (2)$$

Таким образом, при заданном возбуждении линзы знание трех коэффициентов C_0, C_1, C_2 позволяет определить коэффициент хроматической aberrации C для любого увеличения и, следовательно, любого положения предмета.

В настоящей работе коэффициент хроматической aberrации C определялся экспериментально на электронно-оптической скамье по следующей формуле:

$$C = -\frac{\Phi}{M^2} \frac{dz_i}{d\Phi}, \quad (3)$$

полученной из выражения (1). Здесь z_i — координата положения изображения. При заданном положении предмета измерялись положение изображения и увеличение при различных возбуждениях линзы. Для удобства измерений варьировалась не энергия пучка, а потенциал на среднем электроде линзы. Измерения проводились при ускоряющем потенциале

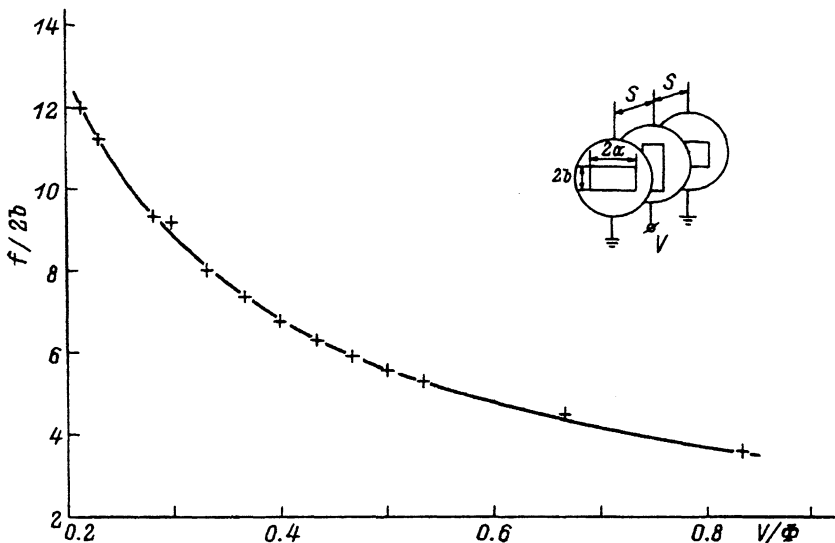


Рис. 1. Схематическое изображение одиночной скрещенной линзы и зависимость ее фокусного расстояния f от относительного потенциала на среднем электроде V/Φ . Здесь $a = 2b$, $s = b$.

на среднем электроде линзы. На основании численного дифференцирования полученной кривой вычислялся коэффициент C .

Из результатов этих измерений находилась также зависимость фокусного расстояния f от возбуждения линзы (рис. 1). Линзу данной геометрии в исследуемом диапазоне возбуждений можно считать тонкой, по-

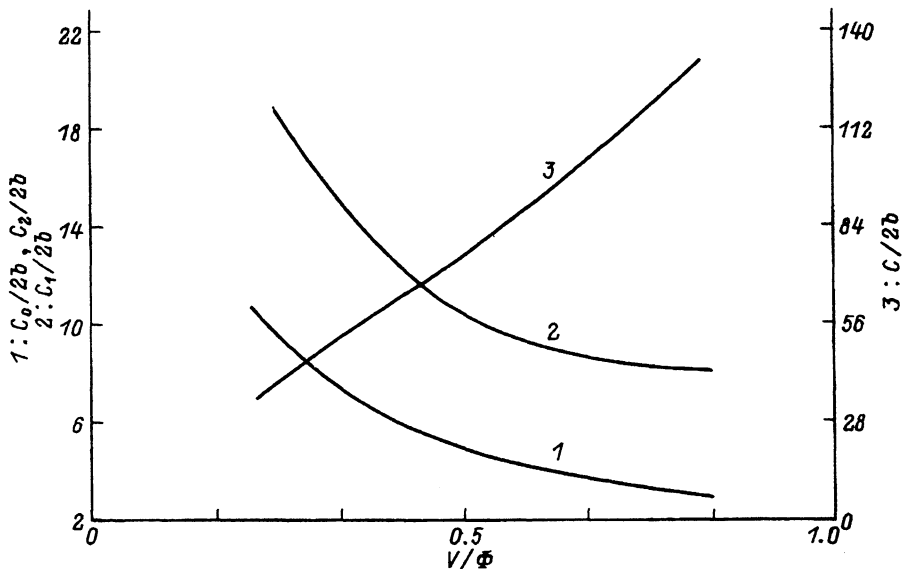


Рис. 2. Зависимость коэффициента хроматической aberrации C и коэффициентов полинома $C_0 = C_2$ и C_1 от относительного потенциала на среднем электроде V/Φ .

этому расчет фокусного расстояния проводился по формуле тонкой линзы в предположении, что главные плоскости совпадают с центром линзы. На основании численного дифференцирования полученной кривой вычислялся коэффициент C_0 , определяемый формулой [1]

$$C_0 = -\Phi \frac{dz(F)}{d\Phi}, \quad (4)$$

где $z(F)$ — координата фокуса.

В приближении тонкой линзы $f = z(F)$. В одиночной скрещенной линзе

$$C_0 = C_2, \quad (5)$$

что нетрудно показать на основании формул (4) работы [2]. Из (2), (4) и (5) определяется коэффициент C_1 . Полученные результаты представлены на рис. 2. Они полностью характеризуют хроматическую aberrацию в собирающей средней плоскости скрещенной линзы. Для каждого конкретного режима работы линзы коэффициент хроматической aberrации C рассчитывается из выражения (2), причем увеличение M определяется из кривой на рис. 1 по следующей формуле:

$$M = \frac{f}{z_0 - f}. \quad (6)$$

Здесь z_0 — расстояние от предметной плоскости до центра линзы. Проведенные оценки показали, что погрешность определения коэффициента хроматической aberrации составляет примерно 50%.

Было проведено сравнение коэффициентов хроматической aberrации скрещенной линзы с аналогичными коэффициентами одиночной осесимметричной линзы, составленной из трех диафрагм. Меньший размер прямоугольного отверстия скрещенной линзы $2b$ приравнивался диаметру отверстия осесимметричной линзы. Сравнение проводилось при одинаковой оптической силе линз. Было получено, что соответствующие коэффициенты имеют одинаковый порядок величины.

Список литературы

- [1] Hawkes P. W., Kasper E. Principles of Electron Optics. New York; London: Academic Press, 1989.
 [2] Баранова Л.А., Ульянова Н.С., Явор С.Я. ЖТФ. Т. 61. Вып. 7. С. 157-161.

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе
 Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
 5 марта 1993 г.