

01;10;12

Электромагнитная квадрупольно-октупольная линза

© Л.П. Овсянникова, Т.Я. Фишкова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 2 июня 1999 г.

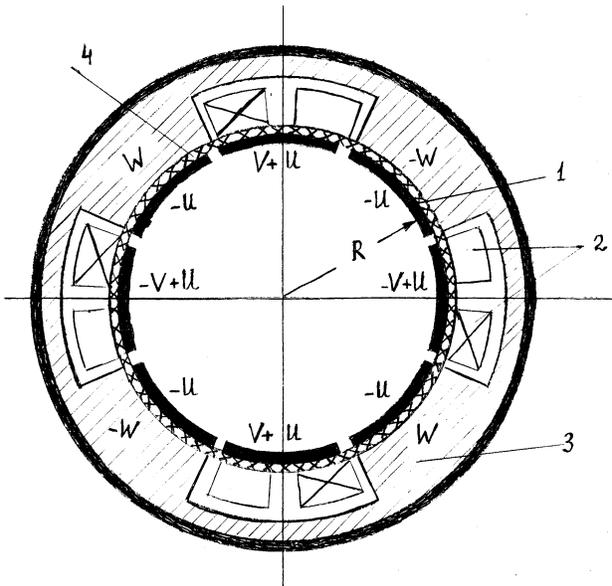
Предложена конструкция электромагнитной квадрупольной линзы с коррекцией сферо-хроматической аберрации, состоящей из восьми электродов, четыре из которых являются одновременно полюсами магнита.

Системы из квадрупольных линз часто используются для проведения пучков высоких энергий. В последнее время система из четырех квадрупольных линз, создающая правильное изображение аналогично осесимметричной линзе, так называемый "русский квадруплет" [1], используется в электронной микроскопии, а также для создания нанометровых ионных зондов [2,3]. В таких системах проблема устранения сферо-хроматической аберрации является весьма актуальной, так как эта аберрация существенно влияет на разрешение электронных микроскопов и диаметр зонда в микроанализаторах.

В работах [4] предложена и исследована ахроматическая квадрупольная линза на основе пространственно совмещенных электростатической и магнитной линз, силы которых направлены в противоположные стороны. При этом электростатическая линза располагается внутри магнитной.

В обзорной работе [5] приведены условия коррекции сферической аберрации различных систем из квадрупольных линз с помощью октуполь и даны конструкции электростатических квадрупольно-октупольных линз с вогнутыми цилиндрическими электродами.

В настоящей работе предлагается упрощенная конструкция ахроматической квадрупольной линзы с коррекцией сферической аберрации, поперечное сечение которой представлено на рисунке. Электроды квадрупольно-октупольной линзы выполнены в виде цилиндра, разрезанного по образующим на восемь частей с одинаковыми угловыми размерами. При этом четыре электрода, расположенные между электро-



Поперечное сечение восьмиэлектродной электромагнитной квадрупольной линзы. 1 — электрод-полус, 2 — обмотка электромагнита, 3 — ярмо магнита, 4 — изолятор.

дами квадруполя, являются одновременно полюсными наконечниками магнитной линзы. В этом случае апертуры магнитной и электростатической линз равны, поэтому сила магнитной линзы, при которой выполняется условие коррекции хроматической aberrации, меньше, чем в обычно используемых ахроматических линзах (см., например, [4]). Дополнительным преимуществом предложенной конструкции является возможность более точного изготовления и установки электродов-полусов друг относительно друга по сравнению с электродами и полюсами другой формы.

Распределение скалярного потенциала предложенной электромагнитной восьмиэлектродной квадрупольно-октупольной линзы для двумерного случая получено нами в замкнутой форме аналогично тому, как это сделано в работе [6] для электростатической четырехэлектродной квадрупольной линзы с угловыми размерами $\pi/2$. В цилиндрической

системе координат (r, φ) при условии бесконечно малых зазоров между электродами-полюсами с угловыми размерами, равными $\pi/4$, оно имеет вид:

$$\Phi_{EM}(r, \varphi) = 1/\pi \left\{ (W - V) \operatorname{arctg} [2\rho^2 \sin(\pi/4) + 2\varphi / (1 - \rho^4)] - (W + V) \operatorname{arctg} [2\rho^2 \sin(\pi/4 - 2\varphi) / (1 - \rho^4)] + 2U \operatorname{arctg} [2\rho^4 \cos 4\varphi / (1 - \rho^8)] \right\},$$

где $\rho = r/R$ (R — радиус апертуры линзы). $\pm V$ и $\pm U$ — потенциалы электростатических квадрупольного и октупольного соответственно, $\pm W$ — скалярный потенциал магнитной квадрупольной линзы.

Аналитическое решение полевой задачи позволяет решать дифференциальное уравнение траекторий заряженных частиц как в отдельной комбинированной квадрупольно-октупольной линзе, так и в системах из них.

В заключение отметим, что предложенная упрощенная конструкция комбинированной квадрупольно-октупольной линзы со скорректированной сферо-хроматической аберрацией полезна при создании многоэлементных систем, в частности — русского квадруплета.

Список литературы

- [1] Дымников А.Д., Явор С.Я. // ЖТФ. 1963. Т. 33. № 7. С. 851; Дымников А.Д., Фишкова Т.Я., Явор С.Я. // ЖТФ. 1965. Т. 35. № 3. С. 431.
- [2] Dymnikov A.D., Martinez G. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1997. V. 130. P. 64.
- [3] Wollnik H., Javor M.I., Kalimov A.G. // RSI. 1998. V. 69. N 12. P. 4116.
- [4] Кельман В.М., Явор С.Я. // ЖТФ. 1961. Т. 31. № 12. С. 1433; Явор С.Я., Дымников А.Д., Овсыанникова Л.П. // Nucl. Instr. Meth. 1964. V. 26. P. 13.
- [5] Явор С.Я., Фишкова Т.Я., Шпак Е.В., Баранова Л.А. // Nucl. Instr. Meth. 1969. V. 76. P. 181.
- [6] Страшкевич А.М. Электронная оптика электростатических полей. М.—Л.; Энергия, 1966 С. 141–142.