

УДК 537.533

Электростатическая линза из цилиндрических электродов различных радиусов

Т.Я. Фишкова

Для одновременной фокусировки приосевых и удаленных от оси пучков заряженных частиц предложена и теоретически исследована электростатическая линза, состоящая из набора коаксиальных цилиндрических электродов. Численно рассчитаны параметры такой комбинированной линзы. Выигрыш в интенсивности пучка по сравнению с широко используемой одиночной осесимметричной линзой возрастает в несколько раз.

PACS: 41.85.—р

Ключевые слова: комбинированная линза, фокусировка, широкие пучки заряженных частиц

Введение

В работе автора [1, 2] предложена и рассчитана электростатическая система из трех коаксиальных цилиндров с плоским торцевым электродом на входе. Такие электроды образуют линзу из совмещенных в пространстве коаксиальной цилиндрической линзы, предложенной автором ранее, и одиночной осесимметричной линзы, причем последняя имеет простую конструкцию, т.к. состоит не из трех, как принято обычно, а из двух электродов. Такая комбинированная линза способна фокусировать в одной точке приосевые и удаленные от оси пучки заряженных частиц, что способствует повышению светосилы различных устройств с протяженными источниками заряженных частиц. В частности, она полезна для источников ионов, в которых требуется вытягивать частицы из большой области ионообразования.

Целью данной работы являлось исследование системы из четырех и пяти коаксиальных цилиндрических электродов, радиус которых последовательно возрастает.

Комбинированная линза

Один из вариантов устройства предлагаемой комбинированной линзы, а также ход траекторий заряженных частиц в ней схематически представлен на рис. 1. Видно, что система имеет вращательную симметрию относительно продольной оси z . Электроды радиусов R_2 и R_3 с тормозящими заряженные частицы потенциалами V_2 и V_3 , а также заземленный цилиндрический электрод

Фишкова Татьяна Яковлевна, ст. научн. сотрудник.
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН.
Россия, С.—Петербург, Политехническая ул., 26.
E-mail: fishkova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2013 г.

© Фишкова Т.Я., 2013

радиуса R_1 совместно с плоским заземленным торцевым электродом образуют коаксиальные цилиндрические линзы (КЦЛ) длиной L , которые осуществляют фокусировку пучков, удаленных от продольной оси системы. Одновременно внутренний цилиндрический электрод радиуса R_0 и длиной l_0 с потенциалом V_0 совместно с заземленным электродом радиуса R_1 образуют одиночную линзу (ОЛ), которая фокусирует приосевые пучки. Силы КЦЛ и ОЛ подобраны таким образом, чтобы все пучки фокусировались в одном и том же месте.

Поиск точки фокусировки описанной комбинированной линзы проводится по пяти независимым параметрам: радиусам, длинам и положениям цилиндрических электродов, их потенциалам, а также радиусам траекторий пучков на входе в систему. Расчеты полей и фокусирующих свойств комбинированной линзы проведены численно по программе ТЕО для электростатических осесимметричных систем. Расчеты показали, что поля КЦЛ и ОЛ не перекрываются и действуют независимо друг от друга, что является преимуществом описываемой линзы, тогда как поля большинства комбинированных систем влияют

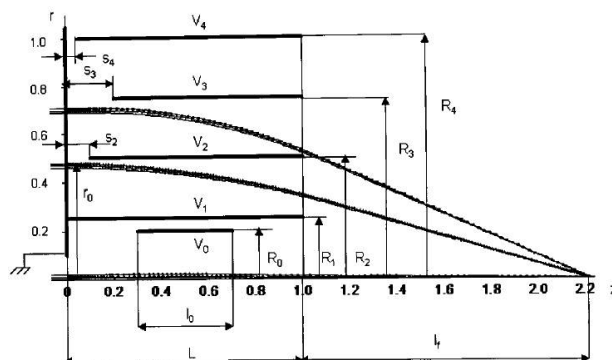


Рис. 1 Комбинированная электростатическая линза с ходом траекторий пучка заряженных частиц.

друг на друга. Это способствует широким возможностям для осуществления различных комбинаций геометрических и электрических параметров предлагаемой системы, необходимых для решения той или иной задачи.

В качестве примера рассмотрена компактная пятиэлектродная система, максимальный радиус которой принят за единицу ($R_4 = 1$). При этом для сохранения принципа подобия все геометрические параметры выражены в единицах максимального радиуса системы. Радиусы остальных электродов равны $R_0 = 0,2$, $R_1 = 0,25$, $R_2 = 0,5$, $R_3 = 0,75$, их длины $L = 1$, длина внутреннего электрода $l_0 = 0,4$. Для такой геометрии рассчитаны оптические силы (при заземленных втором и пятом электродах $V_1 = V_4 = 0$) для обеих КЦЛ, а именно, $F_1 = eV_2/\epsilon_0$, $F_2 = eV_3/\epsilon_0$ и, соответственно, для ОЛ $F_0 = eV_0/\epsilon_0$. Здесь e и ϵ_0 — заряд и начальная энергия заряженных частиц. Определены также начальные радиусы траекторий пучка r_0 , при которых осуществляется фокусировка на оси системы в одном и том же месте всех трех пучков.

На рис. 2 приведены параметры описанной комбинированной электростатической линзы в зависимости от её фокусного расстояния l_f , которое отсчитывается от выходного края линзы, при впуске пучков заряженных частиц параллельного продольной оси системы. Из рисунка видно, что с уменьшением оптических сил всех составляющих комбинированной линзы её фокусное расстояние растет по линейному закону за исключением узкой области вблизи края линзы. Что касается начальных координат пучков заряженных частиц, для которых осуществляется фокусировка, то они практически не зависят от фокусного расстояния линзы. Радиус сфокусированного на оси пятна r_i при размерах кольцевых пучков на входе обеих КЦЛ, равных $\Delta r_0 = \pm 0,01$ и радиусе приосевого

пучка на входе в ОЛ, равного $r_0 = 0,1 R_0$, составляет $r_i = (1,5 - 3,0) \cdot 10^{-3}$.

В конструкции, приведенной на рис. 1, имеется возможность задействовать пятый электрод радиуса $R_4 = 1$, подавая на него тот или иной потенциал. Например, отодвинув его от торцевого электрода на расстояние $s_4 = 0,5$ и запустив четвертый пучок с начальными радиусами $r_0 = 0,91 \pm 0,01$, можно сфокусировать в одной и той же точке все четыре пучка. Так, при силе ОЛ равной $F_0 = 0,65$ и силах трех КЦЛ, соответственно, равных $F_1 = 0,115$, $F_2 = 0,27$, $F_3 = 0,52$, все пучки фокусируются в одной точке продольной оси z на расстоянии $l_f = 0,92$ от выходного края линзы. При этом размер пятна несколько увеличивается и составляет $r_i = 3,5 \cdot 10^{-3}$. При необходимости можно и далее вводить цилиндрические электроды бо́льших радиусов и искать режимы работы последующих КЦЛ с условием фокусировки всех пучков в одной и той же точке, т.е. тем самым еще более увеличивая светосилу линзы.

На практике, как известно, наиболее широкое распространение получили одиночные осесимметричные линзы, которые из-за наличия сферической аберрации хорошо фокусируют лишь близкие к оси пучки заряженных частиц. Однако видно, что в комбинации с несколькими коаксиальными цилиндрическими линзами удастся в 3–4 раза повысить интенсивность сфокусированного пучка, не прибегая при этом к многоэлектродным системам, корректирующим сферическую аберрацию.

Заключение

Представленные материалы показывают, что исследованная в работе простая в изготовлении система из набора коаксиальных цилиндров способна фокусировать широкие пучки заряженных частиц. Она обладает высокой интенсивностью и может быть использована в различных устройствах, где требуется формирование и фокусировка пучков, которые необходимо вытягивать из источников больших размеров.

Литература

1. Фишкова Т.Я. // ПЖТФ. 2009. Т. 35. № 9. С. 31
2. Fishkova T.Ya. // Tech. Phys. Let. 2009. V. 35. No. 5. P. 404

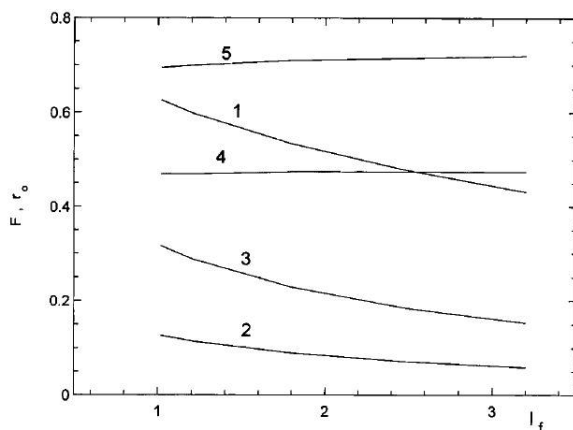


Рис. 2. Рабочие характеристики комбинированной линзы. Оптические силы её составляющих: кривая 1 — F_0 , 2 — F_1 , 3 — F_2 ; начальные координаты входа центральных траекторий пучка: кривая 4 — r_{0r} , 5 — r_{0z} .

Electrostatic lens of the cylinder electrodes with different radii

T.Ya. Fishkova

Ioffe Physico-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences
26 Politechnitsheskaya str., St. Petersburg, Russia,
E-mail: fishkova@mail.ru

The simple on a design system from a set of coaxial cylinders has been investigated in this work. It is capable to focus wide beams of the charged particles. The system possesses high intensity and may be used in various devices, for example, when formation and focusing of beams have been made from the sources of great sizes.

PACS: 41.85.— p

Keywords: combined lens, focusing, wide beam charged particles.

Bibliography – 2 references

Received November 7, 2013