

01;10

## Комбинированная электростатическая линза

© Т.Я. Фишкова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург  
E-mail: fishkova@mail.ru

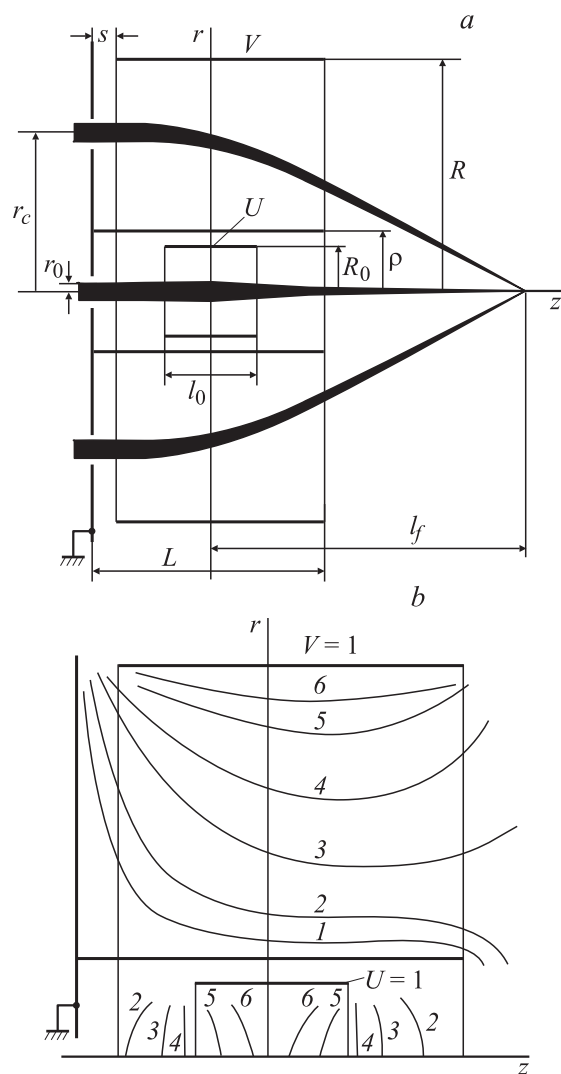
В окончательной редакции 27 ноября 2008 г.

С целью увеличения интенсивности пучка заряженных частиц теоретически исследована электростатическая линза из трех коаксиальных цилиндров, которая фокусирует в одной точке приосевые пучки (за счет осесимметричной линзы), а также удаленные от оси пучки (за счет коаксиальной цилиндрической линзы). Численно рассчитаны параметры такой комбинированной линзы. Определен выигрыш в интенсивности пучка по сравнению с широко используемой одиночной осесимметричной линзой.

PACS: 41.85.-p

В монографии [1] описана электростатическая линза из двух коаксиальных цилиндров с открытыми торцами, предназначенная для фокусировки кольцевых пучков заряженных частиц. В связи с существенными размерами пятна в ее плоскости фокусировки одиночная линза не используется, а применяются дублеты из коаксиальных линз противоположной полярности либо квадруплеты. В наших работах [2–6] предложена и подробно исследована коаксиальная цилиндрическая линза (КЦЛ) с плоским заземленным торцевым электродом, расположенным на входе в линзу вблизи внешнего (полезадающего) цилиндрического электрода. Это обстоятельство позволило получить сфокусированное пятно, размер которого более чем на порядок меньше ширины входного кольца.

В настоящей работе предложена и рассчитана электростатическая система из трех коаксиальных цилиндров. Они образуют линзу из совмещенных в пространстве описанной выше КЦЛ и одиночной осесимметричной линзы (ОЛ). Следует отметить, что в такой комбинированной линзе одиночная ОЛ имеет более простую конструкцию, так как состоит не из трех, как принято, а из двух электродов.



**Рис. 1.** Комбинированная электростатическая линза с ходом траекторий пучка заряженных частиц (а) и картина эквипотенциалей  $\varphi$  в такой линзе (б). 1 —  $\varphi/V = 0.1$ , 2 — 0.2, 3 — 0.4, 4 — 0.6, 5 — 0.8, 6 — 0.9.

Данная 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. Устройство предлагаемой комбинированной линзы с ходом траекторий заряженных частиц схематически представлено на рис. 1, *a*. Распределение потенциала в такой линзе дано на рис. 1, *b*, который имеет вращательную симметрию относительно продольной оси  $z$ . Внешний цилиндрический электрод радиуса  $R$  с тормозящим заряженные частицы потенциалом  $V$  и средний заземленный цилиндрический электрод радиусом  $\rho$  совместно с плоским торцевым, также заземленным электродом образуют КЦЛ длиной  $L$ , которая осуществляет фокусировку удаленных от продольной оси системы  $z$  пучков. Одновременно внутренний цилиндрический электрод радиусом  $R_0$  и длиной  $l_0$  с потенциалом  $U$  совместно со средним электродом образуют одиночную ОЛ, которая фокусирует приосевые пучки. Силы КЦЛ и ОЛ должны быть подобраны таким образом, чтобы точка фокусировки находилась в одном и том же месте.

Расчеты полей и фокусирующих свойств комбинированной линзы проведены численно по программе для электростатических осесимметричных систем, использованной в работах [2–6]. На основании предыдущих расчетов авторов [2–6] была выбрана компактная КЦЛ с соотношением радиусов большего и среднего цилиндров  $R/\rho = 4$  и длиной  $L = R$ . При увеличении  $\rho$  ограничивается возможность фокусировки пучков вблизи края линзы, при его уменьшении возникают трудности при размещении третьего цилиндрического электрода меньшего радиуса, который выбран равным  $R_0 = 0.2R$ , расположен посередине КЦЛ и имеет длину  $l_0 = 2R_0$ . Для указанной геометрии комбинированной линзы рассчитаны силы ее составляющих, обеспечивающие фокусировку входящего параллельно оси пучка заряженных частиц. Следует отметить, что, поскольку поля КЦЛ и ОЛ не перекрываются (см. рис. 1, *b*), они действуют независимо друг от друга. Это обстоятельство является существенным преимуществом описываемой линзы, так как поля большинства комбинированных систем влияют друг на друга.

На рис. 2 приведены параметры исследованной комбинированной электростатической линзы в зависимости от требуемого положения точки фокусировки пучка  $l_f$ , отсчитываемого от середины линзы:

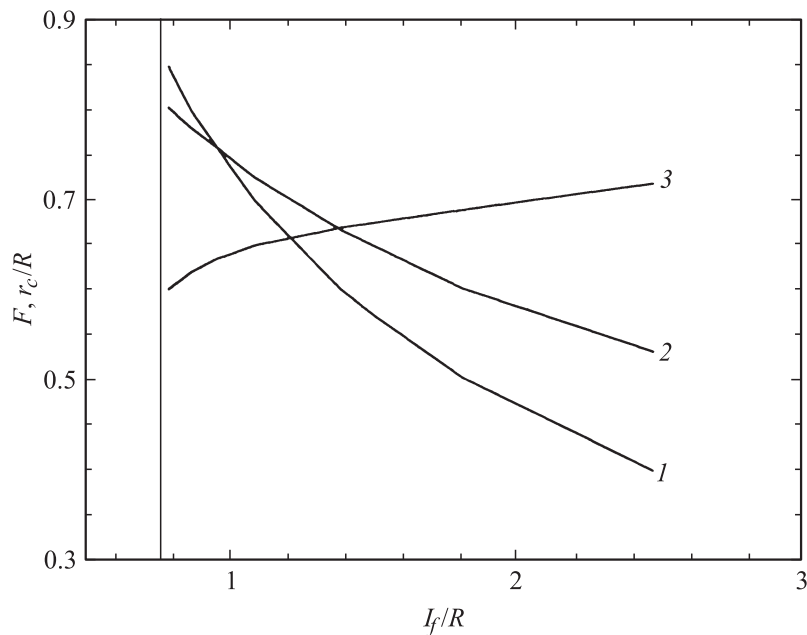
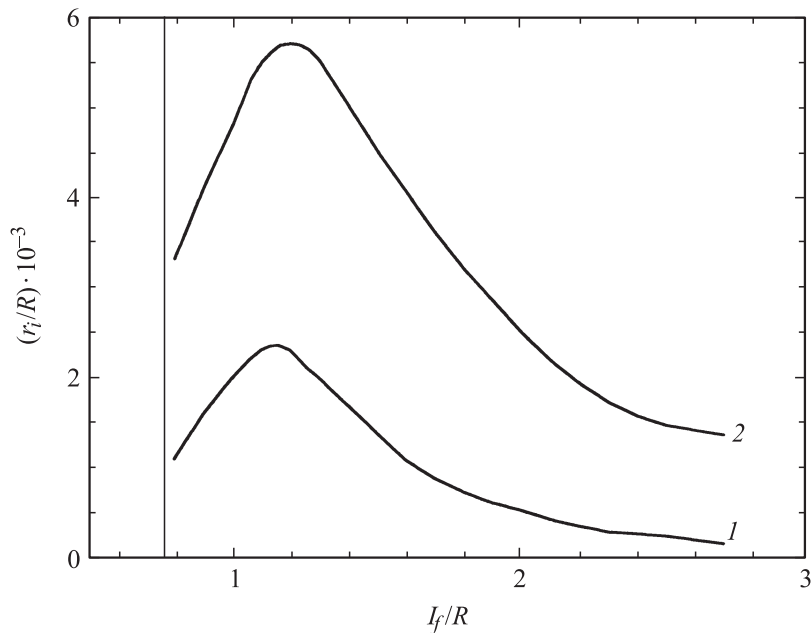


Рис. 2. Параметры комбинированной линзы: 1 —  $F_c$ , 2 —  $F_0$ , 3 —  $r_c/R$ .

силы ее составляющих для КЦЛ  $F_c = eV/\varepsilon_0$  и для ОЛ  $F_0 = eU/\varepsilon_0$  ( $\varepsilon_0$  — начальная энергия заряженных частиц), а также координаты входа в КЦЛ центральной траектории кольцевого пучка  $r_c$ . На рис. 3 даны размеры сфокусированного пучка  $r_i/R$  при размерах входного кольца  $\Delta r_c = \pm 0.01R$  и  $\Delta r_c = \pm 0.02R$ . В этих случаях радиусы приосевого пучка на входе ОЛ в зависимости от режима работы равны  $r_0 = (0.13-0.23)R_0$  и  $(0.24-0.33)R_0$  соответственно. Следует отметить, что вертикальная линия на рис. 2, 3 означает границу, ближе которой фокусировка на ось становится невозможной из-за попадания пучка на средний цилиндрический электрод линзы.

На практике наиболее широкое распространение получили трехэлектродные одиночные осесимметричные линзы, которые из-за наличия сферической абберации хорошо фокусируют лишь близкие к оси пучки заряженных частиц. В комбинации с КЦЛ удастся существенно



**Рис. 3.** Размеры сфокусированного пятна: 1 — при  $\Delta r_c = \pm 0.01R$ , 2 — при  $\Delta r_c = \pm 0.02R$ .

повысить интенсивность пучка в точке фокусировки ОЛ, не прибегая к многоэлектродным корректирующим системам. Расчеты показали, что в предположении равномерного распределения плотности тока пучка на входе в комбинированную линзу его интенсивность в общей точке фокусировки из-за вклада КЦЛ возрастает в 12–20 раз по сравнению с одиночной ОЛ. Однако чаще всего начальная плотность тока по мере удаления пучка от оси уменьшается. Предположим, что на оси плотность тока максимальна и убывает по радиусу до нуля при  $r = R$ . Если она уменьшается по параболическому закону  $j/j_0 = 1 - (r/R)^2$ , то для описанной выше геометрии комбинированной линзы интенсивность пучка увеличивается в 7–11 раз по сравнению с одиночной осесимметричной линзой. Если по линейному закону  $j/j_0 = 1 - r/R$ , то выигрыш в интенсивности составляет 4–8 раз.

Отметим, что у комбинированной линзы имеется оптимальный с точки зрения питания режим работы, когда  $F_c = F_0 = 0.759$  (рис. 2). В этом случае положение фокуса находится на расстоянии  $l_f = 0.95R$  от середины линзы, а радиус центральной траектории кольцевого пучка  $r_c = 0.64R$ . При размерах кольца на входе в КЦЛ  $(0.64 \pm 0.01)R$  и радиусе сплошного пучка на входе в ОЛ  $r_0 = 0.21R_0$  размер сфокусированного пятна равен  $r_i = 8.6 \cdot 10^{-3}R_0$ . При этом выигрыш в интенсивности по сравнению с одиночной ОЛ составляет 14.4, 8.5 и 5.2 раза при равномерной плотности тока на входе, ее изменении по параболическому и линейному законам соответственно.

Таким образом, исследованная в работе простая в изготовлении система из трех коаксиальных цилиндров способна фокусировать широкие пучки заряженных частиц. Она обладает высокой интенсивностью и может быть использована в различных устройствах, где требуются формирование и фокусировка пучков, выходящих из источников значительных размеров.

## Список литературы

- [1] Баранова Л.А., Явор С.Я. Электростатические электронные линзы. М.: Наука, 1986. Гл. 11. С. 172–174.
- [2] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 16. С. 39–44.
- [3] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 12. С. 81–82.
- [4] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 6. С. 124–127.
- [5] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 6. С. 123–126.
- [6] Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 20. С. 39–44.