

УДК 539.188+ 537.533.3

© Т. В. Помозов, М. И. Явор

УСТРАНЕНИЕ ОСЕВОГО АСТИГМАТИЗМА В КРАЕВЫХ ПОЛЯХ СФЕРИЧЕСКОГО СЕКТОРНОГО ДЕФЛЕКТОРА

Предложен способ устранения дефокусировки пучков заряженных частиц в плоскости дисперсии в краевых полях секторного дефлектора. Метод основан на создании с помощью модификации геометрии краевой области дефлектора немонотонного распределения напряженности отклоняющего электростатического поля на оптической оси.

ВВЕДЕНИЕ

Сферические электростатические секторные дефлекторы широко используются как элементы для энергоанализа, фокусировки и транспортировки электронных и ионных пучков. Особенно часто по сравнению с другими типами анализаторов они применяются в изображающих системах оптики заряженных частиц, поскольку в параксиальном приближении идеальное поле сферического конденсатора формирует правильное изображение, т. е. оптическая сила такого поля одинакова в двух направлениях, перпендикулярных круговой оптической оси, — направлению дисперсии x и нормальному к нему направлению y . В частности, распространенными являются изображающие устройства, основанные на последовательном включении нескольких сферических дефлекторов [1, 2].

В реальности, однако, стигматичность сферического дефлектора нарушается из-за дефокусировки пучка заряженных частиц в плоскости дисперсии во входном и выходном краевых полях [3]. Возникающий осевой астигматизм становится особенно заметным в системах, использующих несколько последовательно расположенных дефлекторов. В изображающих системах приходится принимать специальные меры для корректировки такого астигматизма.

Существует несколько способов компенсации осевого астигматизма сферических секторных дефлекторов, таких как использование внешних стигматоров или использование в дефлекторах электродов тороидальной формы. В настоящей работе предложен новый метод коррекции, основанный на введении наконечников электродов сферического дефлектора специальной формы. Предлагаемый метод позволяет упростить коррекцию осевого астигматизма, отказавшись от использования дополнительных элементов (стигматоров) и модификации формы электродов дефлектора.

УСТРАНЕНИЕ ОСЕВОГО АСТИГМАТИЗМА В КРАЕВОМ ПОЛЕ С НЕМОНОТОННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРЯЖЕННОСТИ

Как известно [3], оптическая сила двумерной линзы, формируемой краевым полем секторного анализатора, может быть выражена через интеграл от распределения этого краевого поля на оптической оси дефлектора z . Для входного краевого поля это выражение имеет вид

$$\frac{1}{f} = -\frac{2}{r_0^2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{E(z)}{E_0} \left[1 - \frac{E(z)}{E_0} \right] dz, \quad (1)$$

где f — фокусное расстояние линзы в плоскости дисперсии; r_0 — радиус осевой траектории пучка в дефлекторе; $E(z)$ — распределение напряженности отклоняющего электростатического поля вдоль оптической оси в краевом поле; E_0 — значение напряженности поля на этой оси внутри дефлектора; точки z_1 и z_2 расположены на оптической оси вне области краевого поля в бесполеовом пространстве и внутри дефлектора соответственно. Значение правой части формулы (1) очевидным образом не зависит от конкретного выбора положений точек z_1 и z_2 . Оптическая сила линзы, формируемой выходным краевым полем, может быть выражена аналогичным образом. Отметим, что соотношение (1) справедливо для любого секторного дефлектора — цилиндрического, сферического или тороидального.

Если напряженность входного краевого поля монотонно возрастает вдоль оптической оси от нуля до значения E_0 , как это имеет место в обычных секторных дефлекторах, то подынтегральное выражение в формуле (1) положительно, а фокусное расстояние линзы, формируемой входным краевым полем — отрицательно. Таким образом, входное краевое поле всегда дефокусирует пучок заряженных частиц в плоскости дисперсии, в то время как

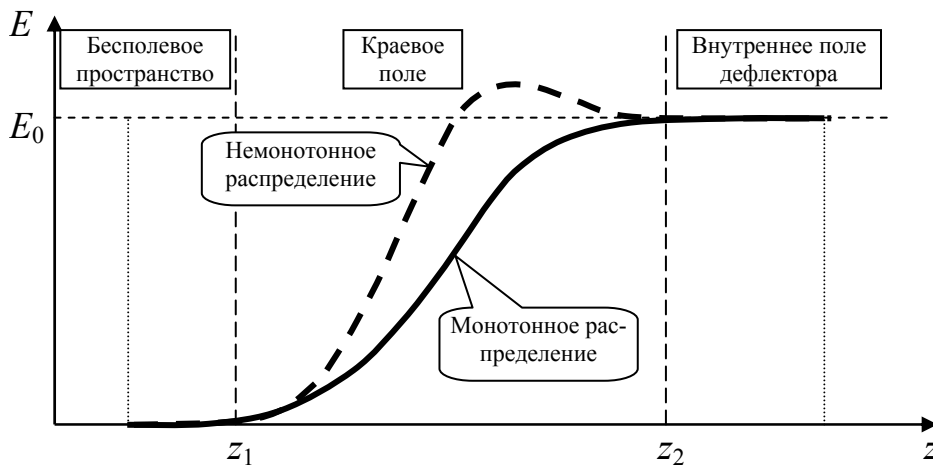


Рис. 1. Монотонное и немонотонное распределения напряженности краевого поля на оптической оси системы

в перпендикулярном направлении дефокусировки в краевом поле не наблюдается. То же верно и для выходного краевого поля. Рассматриваемая дефокусировка и является причиной осевого астигматизма в сферическом секторном дефлекторе.

Выражение (1) подсказывает, что дефокусировку в краевом поле секторного дефлектора можно было бы устранить, если бы распределение напряженности на оси пучка заряженных частиц в краевом поле было бы таким, чтобы интеграл в правой части этого выражения обращался в ноль. Для этого указанное распределение должно быть, очевидно, немонотонным. Заметим, что формирование немонотонного распределения краевого поля 180-градусного сферического энергоанализатора было использовано в работе [4] для решения задачи о совмещении так называемой "эффективной" границы поля дефлектора с его механической границей в том случае, когда поле дефлектора вблизи механической границы экранировано узкими апертурами входной и выходной щелей анализатора. Эффективной границей секторного дефлектора является такая плоскость, которая если бы она разделяла бесполовое пространство и "идеальное" поле внутри дефлектора без краевых искажений, то обеспечивала такой же угол поворота оптической оси пучка частиц, как и реальное поле с учетом краевых эффектов. Поэтому совпадение эффективной и механической границ дефлектора означает равенство механического угла сектора дефлектора и реального угла отклонения этим дефлектором оси пучка заряженных частиц. Положение эффективной границы z_0 входного краевого поля любого секторного дефлектора определяется выражением [3]

$$z_0 = z_2 - \int_{z_1}^{z_2} \frac{E(z)}{E_0} dz \quad (2)$$

и также, как и в случае формулы (1), не зависит от конкретного положения точек z_1 и z_2 .

Немонотонность функции $E(z)$, приводящая к обнулению интеграла в правой части формулы (1), может заключаться в локальном превышении значения этой функции над значением E_0 в области краевого поля, как показано на рис. 1. Такое превышение может быть достигнуто путем сужения межэлектродного зазора дефлектора в области краевого поля. При этом желательно также обеспечить совпадение эффективной границы краевого поля с механической границей секторных электродов.

ВАРИАНТ ЭЛЕКТРОДНОЙ КОНФИГУРАЦИИ, СОЗДАЮЩИЙ ТРЕБУЕМОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВОГО ПОЛЯ

Решение поставленной задачи может быть достигнуто совместным использованием вставок в краевых областях электродов, сужающих межэлектродный зазор, и апертуры Герца [5], являющейся экраном краевого поля. Большое количество параметров геометрии вставок и апертуры (ширина и толщина вставок, положение и зазор апертуры) в принципе позволяет предлагать различные варианты конкретной реализации компенсатора осевого астигматизма в краевом поле сферического дефлектора. Систематизация таких вариантов является достаточно сложной задачей,

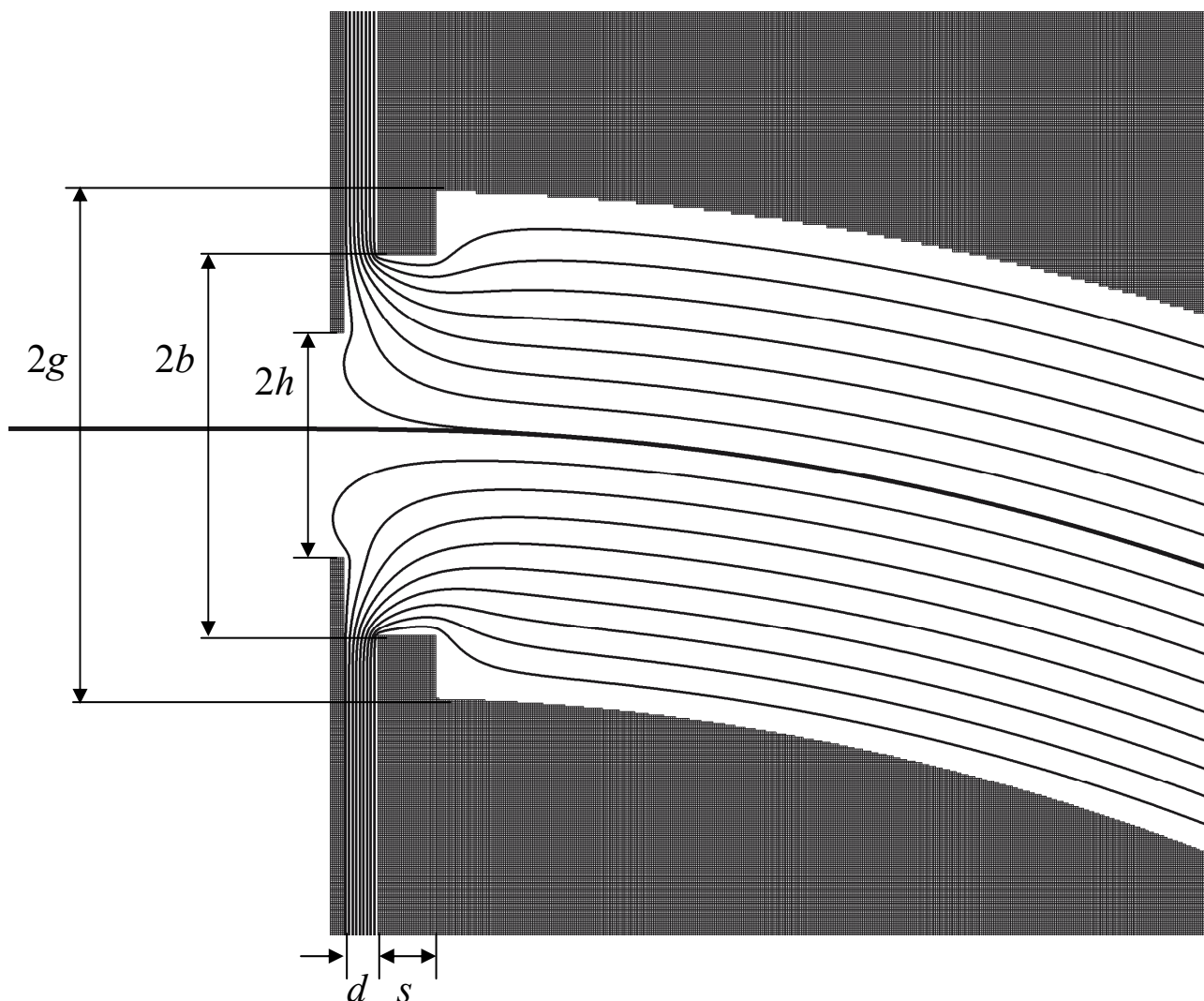


Рис. 2. Вариант геометрии вставок на краях электродов дефлектора и положения экрана краевого поля, обеспечивающие отсутствие дефокусировки в краевом поле в случае величины полузазора между электродами дефлектора $g = 0.1r_0$. Параметры вставок: $b = 0.067r_0$, $s = 0.017r_0$; параметры экрана $h = 0.043r_0$, $d = 0.013r_0$

поскольку подбор необходимых размеров может быть осуществлен только путем численного моделирования электростатического краевого поля. Поэтому в настоящей работе мы ограничились демонстрацией принципиальной возможности предлагаемого способа устранения осевого астигматизма, найдя один из возможных вариантов искомой геометрии. Этот вариант, показанный на рис. 2, был найден путем подбора геометрических параметров электродов дефлектора и экранирующей апертуры для полузазора между электродами внутри дефлектора $g = 0.1 r_0$, где r_0 — радиус оптической оси в дефлекторе. Численное моделиро-

вание электростатического поля было проведено с помощью программы SIMION 8.0 [6]. Расчет показал, что условие совпадения эффективной и механической границ дефлектора накладывает существенные ограничения на выбор геометрии, в частности не позволяет расширить зазор экранирующей апертуры h больше величины, примерно равной $0.04 r_0$. Использование более широкого зазора экранирующей апертуры влечет за собой необходимость отказа от указанного условия.

Отметим, что в принципе предложенный способ может быть использован для устранения дефокусировки пучков заряженных частиц в плоско-

сти дисперсии в краевых полях не только сферического, но и любого тороидального (и в частности, цилиндрического) секторного дефлектора, хотя практическая значимость такого устранения в астигматичных устройствах, очевидно, невелика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rose H.* Electrostatic Energy Filter as Monochromator of a Highly Coherent Electron Source // *Optik*. 1990. V. 85. N 3. P. 95–98.
2. *Schueler B., Sander P., Reed D.A.* A New Time-of-Flight Secondary Ion Microscope // In: Proc. VII-th Int. Conf. on SIMS. N.Y.: Wiley, 1989. P. 851–854.
3. *Wollnik H.* Optics of Charged Particles. Acad. Press, Orlando, 1987.
4. *Jost K.* Fringing Field Correction for 127° and 180° Electron Spectrometers // *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 1979. V. 12. P. 1001–1005.
5. *Herzog R.* Berechnung des Streufeldes eines Kondensators, dessen Feld durch eine Blende begrenzt ist // *Arch. Elektrotechnik*. 1935. V. 29. P. 790–802.
6. *Manura D.J., Dahl D.A.* SIMION™ 8.0 User Manual. Sci. Instrument Services, Inc., Idaho Nat. Lab., 2006.

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 25.09.2008.

ELIMINATION OF AXIAL ASTIGMATISM IN FRINGING FIELDS OF A SPHERICAL SECTOR DEFLECTOR

T. V. Pomezov, M. I. Yavor

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

A way to eliminate defocusing of charged particle beams in the dispersion plane in fringing fields of a sector deflector is proposed. The method is based on forming, by modification of the geometry of the deflector fringing field region, a non-monotonic distribution of the deflecting electrostatic field strength at the optic axis.