

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОРЫ НА КРУГОВОМ ЦИЛИНДРЕ С ПРОДОЛЬНЫМИ РАЗРЕЗАМИ

Л. А. Баранова, С. Г. Нарылков, С. Я. Явор

Широкое применение методов электронной и ионной спектроскопии в ряде научных направлений, в частности микроэлектронике, приводит к необходимости совершенствования используемой аппаратуры. С этой целью разрабатываются новые типы электростатических энергоанализаторов, оптимизируются их параметры. В [1] предложен способ улучшения параметров энергоанализаторов с двумерными полями путем продольного разрезания их электродов и подачи на отдельные части дополнительных потенциалов. В данной работе в качестве примера рассмотрен энергоанализатор, электроды которого образуют цилиндри-

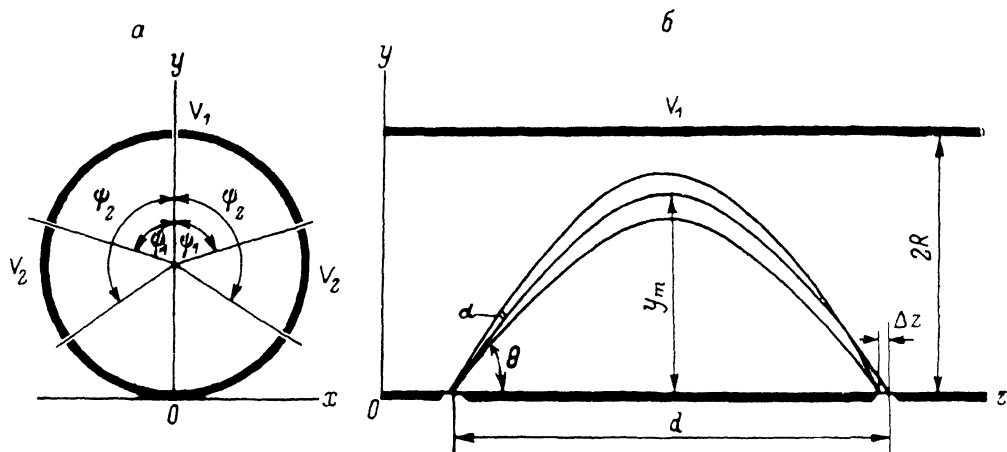


Рис. 1. Схема энергоанализатора.

а — поперечное сечение, б — сечение плоскостью дисперсии.

ческую поверхность, разрезанную по образующим на 2 или 4 части таким образом, чтобы плоскость xOy была плоскостью симметрии (рис. 1). Исследовано влияние на его параметры изменения угловых размеров электродов и отношения потенциалов на них.

Распределение потенциала рассматриваемого анализатора вдали от его краев может быть записано в аналитическом виде

$$\varphi = \frac{V_1 - V_2}{\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{(1 - x^2 - \tilde{y}^2) \sin \psi_1}{(1 + x^2 + \tilde{y}^2) \cos \psi_1 + 2\tilde{y}} \right] + \frac{V_2}{\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{(1 - x^2 - \tilde{y}^2) \sin \psi_2}{(1 + x^2 + \tilde{y}^2) \cos \psi_2 + 2\tilde{y}} \right]. \quad (1)$$

Здесь $\tilde{y} = 1 - y$ (все линейные размеры даны в единицах радиуса цилиндра R), ψ_1 и ψ_2 характеризуют угловые размеры электродов и отсчитываются от оси y (рис. 1), V_1 и V_2 — потенциалы на электродах. Не представляет труда получить выражение для φ , аналогичное (1), для большего числа разрезов на цилиндре.

В двухэлектродном анализаторе $\psi_2 = 0$ и $V_2 = 0$. В выражении (1) второе слагаемое обращается в нуль. Отметим, что в этом случае эквипотенциали имеют форму окружностей, положение центров которых определяется выражениями

$$x(\varphi/V_1) = 0, \quad y(\varphi/V_1) = \sin \left(\frac{\pi\varphi}{V_1} \right) / \sin \left(\psi_1 + \frac{\pi\varphi}{V_1} \right), \quad (2)$$

а радиус равен

$$r(\varphi/V_1) = \sin \psi_1 / \sin \left(\psi_1 + \frac{\pi\varphi}{V_1} \right). \quad (3)$$

Очевидно, что, не изменяя распределение поля, можно менять форму электродов в энергоанализаторе, совмещая их с различными эквипотенциалими. При этом нижний электрод может становиться плоским или изменить направление кривизны. Таким образом, можно

выбирать используемую часть поля, что позволяет расширить рассматриваемый класс двухэлектродных анализаторов и получить дополнительную возможность оптимизации их параметров.

Уравнения траекторий заряженных частиц в анализаторе с двумерным полем в нерелятивистском случае имеют вид

$$x'' = \frac{eE_x}{2\varepsilon \cos^2 \theta \cos^2 \gamma}, \quad y'' = \frac{eE_y}{2\varepsilon \cos^2 \theta \gamma}. \quad (4)$$

Здесь штрихи обозначают дифференцирование по z , E_x и E_y — составляющие напряженности поля, $\varepsilon = mv_0^2/2$ — кинетическая энергия частицы на входе в поле, θ — угол между

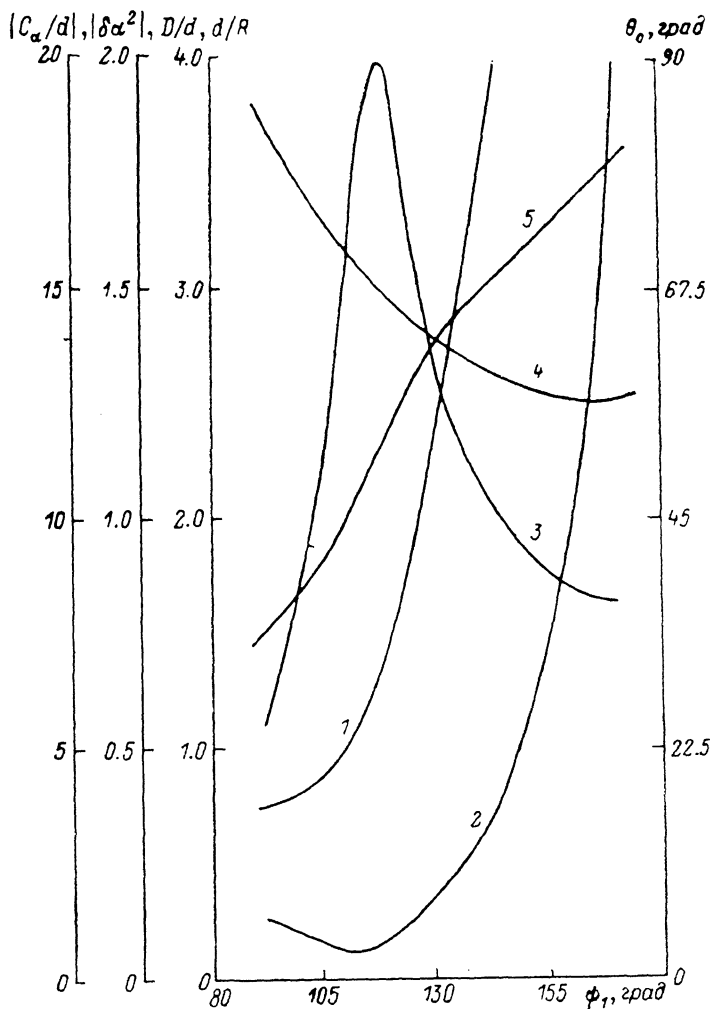


Рис. 2. Электронно-оптические характеристики двухэлектродного анализатора.

1 — относительная дисперсия D/d , 2 — коэффициент абберации C_α/d , 3 — произведение удельной дисперсии на квадрат угла $\delta\alpha^2$, 4 — база d/R , 5 — угол наклона осевой траектории θ_0 .

скоростью частицы в этой точке и плоскостью xOz , γ — угол между проекцией этой скорости на плоскость xOz и плоскостью yOz . При этом начальные значения углов наклона траектории $x'_0 = \text{tg } \gamma_0$, $y'_0 = \text{tg } \theta_0 / \cos \gamma_0$. Если частица движется в плоскости дисперсии yOz , то максимальная высота ее подъема, определяемая из закона сохранения энергии, равна

$$y_{\max} = 1 + \frac{\sin(\pi\beta \sin^2 \theta_0) - \sin \psi_1}{\sin(\pi\beta \sin^2 \theta_0 + \psi_1)}, \quad (5)$$

где параметр $\beta = \varepsilon / eV_1$.

Путем численного решения уравнений (4) методом Рунге—Кутты был рассчитан набор траекторий для различных значений ψ_1 , θ_0 и γ_0 при $\beta = 1$. Отсюда найдены основные пара-

метры анализатора: его база d , линейная дисперсия D , $D = d/2\cos^2\theta_0$, коэффициенты aberrаций C_α и C_γ и удельная дисперсия $\delta = D/C_\alpha \alpha^2$ (здесь $\alpha = \theta - \theta_0$). Результаты расчета представлены в виде графиков на рис. 2. Из него видно, что относительная дисперсия растет монотонно с ростом угла ψ_1 , а коэффициент aberrации C_α/d при угле α^2 имеет минимум, когда $\psi_1 = 112^\circ$. Его значение в этой точке равно -0.6 . Соответственно удельная дисперсия δ имеет максимум при $\psi_1 = 118^\circ$, где $\delta \alpha^2 = -1.98$. Следует отметить, что полученные параметры существенно превосходят параметры плоского конденсатора. Пространственная фокусировка в анализаторе при положении источника и его изображения на нижнем электроде конденсатора и $\beta = 1$ возможна при значении угла $\psi_1 = 130^\circ$.

Значительно большими возможностями обладает система с четырьмя разрезами. В ней добавляются два свободных параметра: геометрический ψ_2 и электрический V_2 . Это позволяет улучшить характеристики анализатора. Расчеты показали, что если потенциал боковых электродов V_2 меньше, чем потенциал верхнего электрода V_1 , то электронно-оптические свойства анализатора ухудшаются по сравнению двухэлектродным. Улучшения параметров можно добиться при $V_2 > V_1$.

Результаты расчета некоторых режимов четырехэлектродного анализатора с пространственной фокусировкой представлены в таблице. Здесь по-прежнему источник и его изображение расположены на нижнем электроде, $\beta = 1$. Отношение потенциалов $V_2/V_1 = 1.2$. Как

ψ_2 , град	ψ_1 , град	θ_0 , град	d/R	D/d	C_α/d	C_γ/d	$\delta\alpha^2$
130	60	61	2.29	2.13	-0.59	-0.51	-3.61
140	50	61	1.94	2.13	-1.09	-0.31	-1.95
150	35	62	1.56	2.30	-1.67	-0.29	-1.38
160	10	63	1.17	2.43	-2.20	0.15	-1.10
—	130	61	2.89	2.13	-1.51	-0.36	-1.41

видно из таблицы, в четырехэлектродном анализаторе возможен набор режимов с пространственной фокусировкой. При этом с увеличением угла ψ_2 угол ψ_1 следует уменьшать. С ростом ψ_2 угол осевой траектории θ_0 , при котором происходит фокусировка, несколько увеличивается, а база уменьшается. Поэтому относительная дисперсия слегка возрастает. Однако при этом значительно увеличивается коэффициент C_α , а следовательно, падает удельная дисперсия. Интересно отметить поведение коэффициента C_γ : с ростом ψ_2 он возрастает от отрицательной до положительной величины, проходя при этом через нуль. В нижней строчке таблицы приведены характеристики двухэлектродного анализатора. Сравнение показывает, что дополнительные разрезы на электродах позволяют получать большее количество режимов с двойной фокусировкой и таким образом повышать те или иные характеристики прибора. Очевидно, дальнейшего улучшения параметров анализатора можно ожидать, во-первых, расширив область изменения его геометрических и электрических параметров и, во-вторых, вынося источник за пределы поля.

Таким образом, проведен расчет анализатора простой и технологичной конструкции. Он обладает достаточно высокими параметрами и может быть рекомендован для использования при снятии спектров заряженных частиц малых и средних энергий.

Список литературы

[1] Баранова Л. А., Нарылков С. Г., Явор С. Я. А. С. № 1376833. БИ. 1989. № 23.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
7 марта 1989 г.