

пучка R_0 сказываются на изменении хода кривых противоположным образом. Влияние увеличения линейного размера пучка (или уменьшения его угловых размеров) сказывается тем сильнее, чем больше выходное плечо Q относительно входного P .

В дальнейшем представляет интерес рассчитать зависимости потенциалов на электродах линзы, обеспечивающие не только сохранение положения формируемого кроссовера, но и постоянного увеличения. Для этого количество электродов должно быть не менее четырех. Для таких систем даже для пучка с нулевым эмиттансом имеется крайне мало данных, а для пучков с конечным эмиттансом такого рода расчетов вообще проведено не было.

Список литературы

- [1] Шнак Е.В. // ЖТФ. 1993. Т. 63. Вып. 1. С. 162-165.
- [2] Harting E., Read F.H. *Electrostatic Lenses*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Sci. Publish. Company, 1976. 322 p.
- [3] Фишкова Т.Я., Шнак Е.В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 4. С. 817-820.
- [4] Шнак Е.В., Явор С.Я. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 8. С. 1610-1614.

10
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 3, 1995

ПЛОСКИЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР С ТОРЦЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Л.П.Овсянникова, Т.Я.Фишкова

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 31 мая 1994 г.)

Плоский конденсатор — наиболее простое по конструкции устройство, что является одной из причин его широкого использования для энергоанализа пучков заряженных частиц. Особенно он удобен при работе в режиме спектрографа. Свойства плоского зеркального анализатора с однородным полем (ПЗА) хорошо изучены [1]. Однако выражения для абберрационного коэффициента второго порядка C_2 , величины удельной дисперсии δ , оптимальных значений угла раствора пучка α_{opt} и размера входной щели s_{1opt} в этой работе ошибочны. На самом деле они имеют вид

$$C_2 = \frac{2L_0(1 - 4 \sin^2 \theta_0)}{\sin^2 2\theta_0}, \quad \delta = \frac{\sin^2 \theta_0}{|1 - 4 \sin^2 \theta_0| \alpha^2}, \quad (1), (2)$$

$$\alpha_{opt} = \frac{\sin \theta_0}{\sqrt{R|1 - 4 \sin^2 \theta_0|}}, \quad S_{1opt} = \frac{L_0}{6R \cos^2 \theta_0}, \quad (3), (4)$$

где L_0 — база анализатора (расстояние между источником и детектором), θ_0 — угол входа основной траектории, $\pm\alpha$ — угол раствора пучка.

Существенным недостатком ПЗА является необходимость обеспечения однородности поля в области прохождения пучка. Это приводит либо к увеличению его длины, либо к установке дополнительных электродов на торцах с потенциалами, изменяющимися по линейному закону.

Целью настоящей работы является нахождение геометрии и режимов работы плоского зеркального энергоанализатора, по торцам которого расположены плоские электроды (ПЗАТ) (рис. 1–3). В отличие от коробчатого анализатора, предложенного в работе [2], плоскость дисперсии ПЗАТ совпадает с плоскостью дисперсии классического ПЗА. Поскольку у ПЗАТ расстояние l между торцами с одинаковыми потенциалами U в несколько раз больше расстояния между отклоняющими пластинами a с потенциалами V_1 и V_2 , то, используя [3], можно существенно упростить по сравнению с коробчатым анализатором выражение для распределения потенциала. При отсчете от торца оно имеет вид

$$\varphi(x, y) = U + \frac{2}{\pi} \left[(V_2 - V_1) \operatorname{arctg} y + (V_1 - U) \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + (V_2 - U) \operatorname{arctg} \left(\frac{xy}{1 - x + y^2} \right) \right]. \quad (5)$$

Здесь и в дальнейшем все линейные размеры даны в единицах a . Как видно из (5), потенциал не зависит от l , поскольку в указанном приближении торцы не влияют друг на друга. Очевидно, что потенциал симметричен относительно середины конденсатора ($y = l/2$).

Расчеты поля, полученного по аналитическим формулам, сравнивались с результатами численного интегрирования уравнения Лапласа с использованием программы ТЕО [4] (рис. 1). Для ПЗАТ с $l = 4a$ отличие потенциалов и напряженности поля, рассчитанных численно и по аналитическим формулам, составляет менее 1.5 и 2.5% соответственно.

Определение геометрических и электрических параметров ПЗАТ также проведено по программе ТЕО. Исследованы два наиболее простых варианта подачи потенциалов на торцевые электроды: 1 — $U = V_1$, 2 — $U = V_2$. Поскольку, как правило, $V_1 = 0$, то ПЗАТ работает всего с одним питающим напряжением. Независимыми переменными, по которым осуществляется поиск оптимальных режимов работы, являются расстояние между торцевыми электродами l , зазор между торцевыми и основными электродами s , величина выноса за пределы поля источника и приемника h , их расстояние до торцевых электродов g , углы впуска пучка, а также оптическая сила устройства

$$F = -\frac{e(V_2 - V_1)}{\varepsilon},$$

где ε — энергия пучка.

В результате проведенной работы найдены оптимальная геометрия и режим ПЗАТ. Траектории электронного пучка представлены на рис. 2 и 3, а их параметры сведены в табл. 1 (ПЗАТ: $l = 4a$, $h = 0.1a$, $g = 0.2a$).

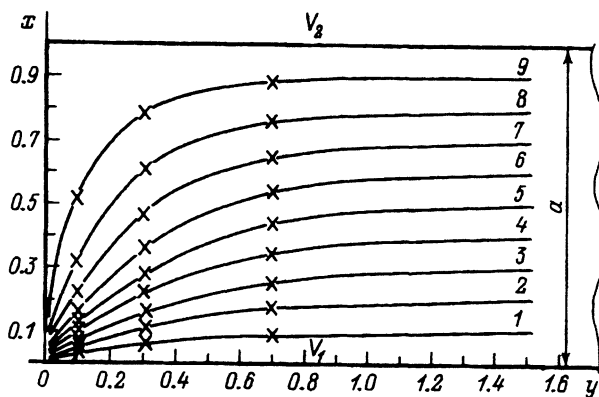


Рис. 1. Эквипотенциали вблизи торца плоского конденсатора.

1 — $\varphi = 0.1$ ($V_2 - V_1$), 2 — 0.2, 3 — 0.3, 4 — 0.4, 5 — 0.5, 6 — 0.6, 7 — 0.7, 8 — 0.8, 9 — 0.9.

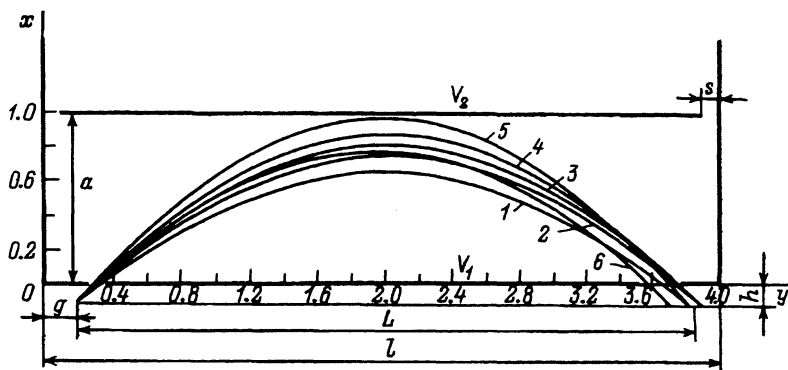


Рис. 2. Траектории пучка при подаче на торцы потенциалов, равных потенциалу нижней пластины конденсатора, $U = V_1 = 0$ и $V_2 = -0.61\epsilon/\epsilon$ для энергии настройки ϵ (1-5) и $\Delta\epsilon/\epsilon = 5\%$ (6).

1 — $\theta_0 = 34$, 2 — 37, 3 — 39, 4 — 41, 5 — 44, 6 — 39°.

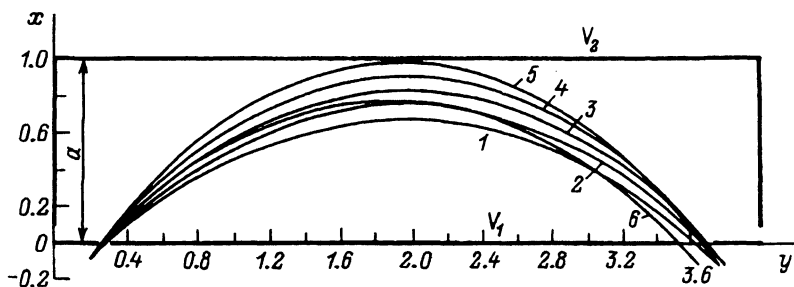


Рис. 3. Траектории пучка при подаче на торцы потенциалов, равных потенциалу верхней пластины конденсатора $U = V_2 = -0.57\epsilon/\epsilon$ и $V_1 = 0$ для энергии настройки ϵ (1-5) и $\Delta\epsilon/\epsilon = 5\%$ (6).

1 — $\theta_0 = 44$, 2 — 47, 3 — 50, 4 — 53, 5 — 56, 6 — 50°.

Таблица 1.

| № | $U = V_1$ | | | | $U = V_2$ | | | |
|---|-----------|--------------|-----------------------------------|-------|-----------|--------------|-----------------------------------|-------|
| | F | θ_0^0 | $\left(\frac{x}{a}\right)_{\max}$ | L/a | F | θ_0^0 | $\left(\frac{x}{a}\right)_{\max}$ | L/a |
| 1 | -0.61 | 34 | 0.629 | 3.58 | -0.57 | 44 | 0.668 | 3.53 |
| 2 | -0.61 | 37 | 0.722 | 3.64 | -0.57 | 47 | 0.746 | 3.56 |
| 3 | -0.61 | 39 | 0.785 | 3.66 | -0.57 | 50 | 0.826 | 3.57 |
| 4 | -0.61 | 41 | 0.848 | 3.65 | -0.57 | 53 | 0.906 | 3.57 |
| 5 | -0.61 | 44 | 0.941 | 3.59 | -0.57 | 56 | 0.979 | 3.53 |
| 6 | -0.64 | 39 | 0.753 | 3.48 | -0.60 | 50 | 0.774 | 3.41 |

Таблица 2.

| Вид анализатора | D/a | $\pm\alpha$, град | | | |
|--------------------|-------|--------------------|-----|-----|----|
| | | δ | | | |
| | | 2 | 4 | 5 | 6 |
| ПЗАТ $U = V_1$ | 3.6 | 180 | 72 | 45 | - |
| ПЗАТ $U = V_2$ | 3.2 | 550 | 160 | 110 | 80 |
| ПЗА | 3.6 | 443 | 110 | 71 | 49 |

Обработка результатов численных расчетов, приведенных в табл. 1, позволяет определить линейную D и удельную δ дисперсию по энергии для обоих вариантов питания ПЗАТ (табл. 2). Для сравнения в этой же таблице приведены аналитические параметры классического плоского зеркала.

Видно, что удельная дисперсия ПЗАТ с $U = V_1$ несколько меньше ее значения для ПЗА, а с $U = V_2$ несколько больше. Оптимальные размеры источника и угла раствора пучка для ПЗАТ можно определять по формулам (3) и (4), поскольку величины этих параметров при численных расчетах траекторий, выходящих из протяженного источника, отличаются от ПЗА не более чем на 10%.

Таким образом, введение торцевых стенок, находящихся под потенциалом верхнего (относительно источника и приемника) электрода плоского конденсатора, позволяет увеличить разрешающую способность плоского зеркального энергоанализатора. Кроме того, упрощается его конструкция, поскольку отпадает необходимость введения набора электродов для создания однородного поля на краях.

Список литературы

- [1] Афанасьев В.П., Явор С.Я. Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц. М.: Наука, 1978. С. 53-70.
- [2] Афанасьев В.П., Явор С.Я. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. С. 779.
- [3] Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. 55 с.
- [4] Овстникова Л.П., Пасовец С.В., Фишкова Т.Я. // ЖТФ. 1992. Т. 62. Вып. 12. С. 171-176.