

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОКУСИРОВКИ В ПЫЛЕУДАРНОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ ИОННЫМ ЗЕРКАЛОМ

И.В. Пияков, Д.В. Родин, М.А. Родина

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва»

Времяпролётные масс-спектрометры с ионными зеркалами широко применяются при проведении натуральных космических исследований [1]. В ряде случаев присутствует значительный энергетический разброс ионов, приводящий к необходимости использования нелинейных ионных зеркал в конструкции масс-спектрометров.

Условие идеальной фокусировки в нелинейном ионном зеркале

Идеальная фокусировка в нелинейном ионном зеркале обеспечивается при независимости времени дрейфа ионов от их начальной энергии. В [2] предложен метод расчёта распределения нелинейного осевого потенциала ионного зеркала, обеспечивающий такую независимость благодаря тому, что ионы с большей начальной энергией проходят более длинный путь внутри ионного зеркала.

Условие идеальной фокусировки в нелинейном ионном зеркале можно записать в виде интегрального уравнения

$$\Delta t(\Delta U) = 2 \sqrt{\frac{m}{2q}} \int_0^{z^*} \frac{dz}{\sqrt{\Delta U - U}},$$

где $\Delta t(\Delta U)$ – разница во времени пролета для $q\Delta U$ начальной энергии ионов, которая должна быть компенсирована; m – масса электрона; q – заряд электрона; z – текущая продольная координата в области отражения; U – потенциал поля в области отражения (нулевому потенциалу соответствует точка входа в эту область).

Требуемое распределение нелинейного осевого потенциала ионного зеркала

Суммарное время пролёта иона массой m и зарядом q пути внутри масс-спектрометра, за исключением нелинейного рефлектрона, может быть записано следующим образом

$$t_{\Sigma}(\Delta U) = \sqrt{\frac{m}{2q}} \left\{ \frac{2L_1}{U_1} (\sqrt{U_1 + \Delta U} - \sqrt{\Delta U}) + \frac{L_{fl}}{\sqrt{U_1 + \Delta U}} + \frac{4L_3 \sqrt{U_1 + \Delta U}}{kU_1} + \frac{4L_5}{U_1} (\sqrt{U_1 + \Delta U} - \sqrt{\Delta U}) \right\},$$

где L_1 – длина ускоряющего промежутка; L_{fl} – длина бесполового участка; L_3 – расстояние между параболическими электродами; L_5 – длина

замедляющего промежутка; U_1 – ускоряющее напряжение; ΔU – начальная кинетическая энергия ионов.

Разницу во времени пролета, входящую в выражение (1), с учетом равенства (2), можно представить в виде

$$\Delta t_z(\Delta U) = \sqrt{\frac{m}{2q}} \left\{ C_0 - C_1 \sqrt{\Delta U} - C_2 \sqrt{U_1 + \Delta U} - C_3 \frac{1}{\sqrt{U_1 + \Delta U}} \right\},$$

где $C_0 = \frac{t_z(0)}{\sqrt{m/2q}} = \frac{1}{\sqrt{U_1}} \left\{ 2L_1 + L_{fl} + \frac{4L_3}{k} + 4L_5 \right\};$
 $C_1 = - \left\{ \frac{2L_4}{U_1} + \frac{4L_3}{U_1} \right\}; C_2 = \frac{2L_4}{U_1} + \frac{4L_3}{kU_1} + \frac{4L_5}{U_1}; C_3 = L_{fl}.$

Решение выражения (1) может быть найдено с помощью интегрирования

$$z(U) = \frac{1}{2\pi} \int_0^U \frac{\Delta t_z(\Delta U)}{\sqrt{U - \Delta U}} d\Delta U.$$

Т.о. обратная функция, описывающая зависимость продольных координат от потенциала внутри нелинейного зеркала, с учетом выражений (3) и (4), равна

$$z(u) = \frac{1}{2\pi} \left\{ 2C_0 \sqrt{U_1} \sqrt{u} - \frac{\pi}{2} C_1 U_1 u - C_2 U_1 \left(\sqrt{u} + (1 + u) \arcsin \sqrt{\frac{u}{1+u}} \right) - 2C_3 \arcsin \sqrt{\frac{u}{1+u}} \right\}$$

где $u = U/U_1$.

Синтез требуемого распределения потенциала ионного зеркала

Физический синтез поля с требуемым распределением осевого потенциала в соответствии с выражением (5) невозможен по причине того, что большой внутренний диаметр кольцевых полезадающих электродов приводит к значительной разнице между реальным полем на оси зеркала и требуемым идеальным распределением.

Для решения задачи синтеза требуемого распределения нелинейного осевого потенциала ионного зеркала была разработана программа расчёта потенциалов полезадающих элементов. В её основе лежит алгоритм генетической оптимизации: каждое распределение поля в популяции полезадающих потенциалов проверяется на минимизацию ошибки синтеза требуемого поля, лучшие представители популяции отбираются для скрещивания и создания новой популяции до тех пор, пока не будет достигнута минимальная ошибка синтеза. Для сокращения времени расчётов в программе применена CUDA-библиотека решения уравнения Лапласа.

С помощью описанной выше программы были получены значения потенциалов полезадающих электродов, обеспечивающих минимальную ошибку синтеза требуемого нелинейного осевого потенциала ионного

зеркала, и рассчитано двумерное распределение поля внутри зеркала, показанное на рисунке 1.

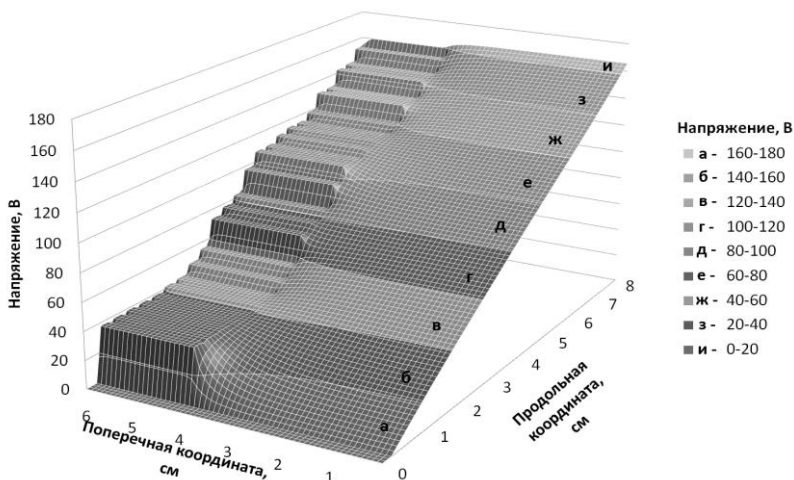


Рисунок 1 – Двумерное распределение потенциалов в нелинейном ионном зеркале

Список использованных источников

1 Каратаев, В.И. Новый немагнитный времяпролетный масс-спектрометр с высоким разрешением [Текст] / В.И. Каратаев, Б.А. Мамырин, Д.В. Шмикк, В.А. Загулин // Журнал технической физики. – 1973. – Т. 64. – Вып. 1. – С. 82-89.

2 Семкин, Н.Д. Аналитический метод расчета распределения электростатического поля отражателя времяпролетного масс-спектрометра [Текст] / Н.Д. Семкин, И.В. Пияков, Д.В. Родин, Р.А. Помельников // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 10. – С. 79-84.

УДК. 621.396

АНАЛИЗ ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ И СИСТЕМ СБОРА ИНФОРМАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.

С.А. Куникин

г. Самара, АО «РКЦ «Прогресс»

Данная работа посвящена обзору и анализу существующей датчиковой аппаратуры и системам сбора информации, применяемых на борту КА.

Основной проблемой создания устройств сбора информации для датчиков является обеспечение высокой помехозащищенности устройства