

УДК 621.384.82

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПОТЕНЦИАЛОВ ЭЛЕКТРОДОВ ИОННОГО ЗЕРКАЛА

Родина М. А., Родин Д. В., Сёмкин Н. Д.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Бортовые времяпролётные масс-спектрометры с использованием ионных зеркал позволяют получать высокое разрешение при значительном начальном энергетическом разбросе ионов. Но с увеличением энергетического разброса возрастает и ошибка компенсации времени пролёта, что приводит к необходимости использования высоких ускоряющих напряжений и быстродействующих приборов обработки ионных спектров.

С целью устранения вышеприведённых недостатков был разработан метод аналитического расчёта нелинейного ионного зеркала. Этот метод позволил получить форму потенциала полезадающих элементов масс-спектрометра, обеспечивающую точную компенсацию времени пролёта ионов с различной начальной энергией:

$$z = \frac{1}{\pi} \left\{ t_0 \alpha \sqrt{\tilde{\varphi}} - L_0 \arcsin \sqrt{\frac{\tilde{\varphi}}{1+\tilde{\varphi}}} - L_1 \left[\sqrt{\tilde{\varphi}} + (1+\tilde{\varphi}) \arcsin \sqrt{\frac{\tilde{\varphi}}{1+\tilde{\varphi}}} - \frac{\pi}{2} \tilde{\varphi} \right] \right\},$$

где t_0 – время пролёта частицы с нулевой начальной энергией; α – скорость частицы после ускоряющего промежутка; $\tilde{\varphi}$ – нормированный потенциал; L_0 – суммарная длина беспольевых участков; L_1 – суммарная длина участков ускорения и торможения.

Однако в действительности непосредственная установка потенциалов полезадающих элементов в соответствии с данным выражением не позволяет синтезировать поле с заданным осевым распределением потенциала из-за просадок поля, обусловленных различными факторами.

Для решения задачи физического синтеза поля с расчётным распределением осевого потенциала было предложено использование алгоритма генетической оптимизации потенциалов полезадающих элементов. Суть данного метода заключается в следующем:

- генерируется первоначальный набор потенциалов полезадающих элементов;
- для каждого члена набора вычисляется поле на расчётной сетке;
- осевое распределение потенциала сравнивается с расчётным;
- четыре члена набора с минимальным отклонением осевого распределения от расчётного участвуют в генерации набора для следующей итерации: их потенциалы «скрещиваются» с внесением случайных «мутаций»;
- после достижения минимума отклонения осевого распределения от расчётного алгоритм переходит в режим работы с целевой функцией максимизации разрешения;
- алгоритм прекращает свою работу после того, как при последующих итерациях не происходит увеличения разрешения.

Результатом работы данного алгоритма является набор потенциалов полезадающих элементов, обеспечивающих минимальное отклонение распределения осевого потенциала поля от расчётного. Полученные значения потенциалов позволили определить распределение поля в нелинейном ионном зеркале (рисунок 1) и ошибку его восстановления (рисунок 2).

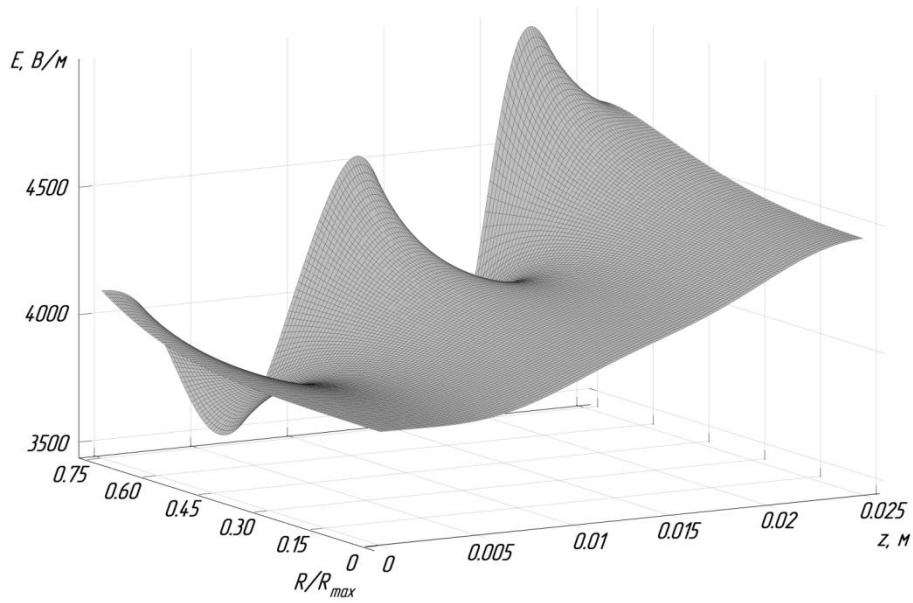


Рис. 1. Распределение поля внутри нелинейного ионного зеркала в зависимости от радиальной и продольной координаты

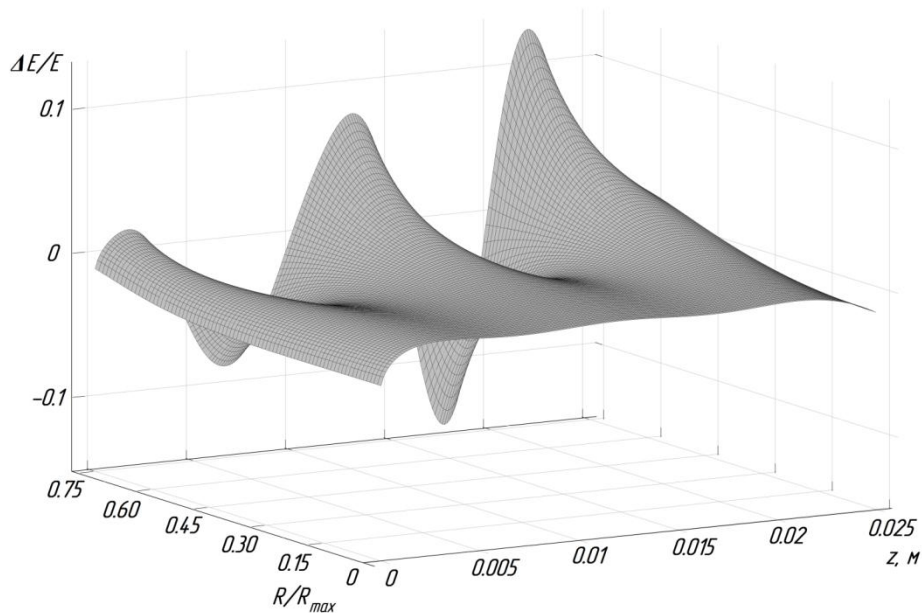


Рис. 2. Распределение относительной ошибки восстановления поля внутри нелинейного ионного зеркала в зависимости от радиальной и продольной координаты

Как видно из рисунков 1 и 2, осевое распределение поля внутри нелинейного ионного зеркала является гладким благодаря тому, что для траекторий ионов вблизи оси влияние ошибок восстановления поля сведено к минимуму.

Предложенный метод аналитического расчёта нелинейного ионного зеркала с применением алгоритма генетической оптимизации потенциалов полезадающих элементов позволяет существенно расширить диапазон разрешаемых масс и допустимых начальных энергий ионов.