

УДК 524.38

С.А. Маннинен (6 курс, каф. КИ),
В.Т. Коган, к.ф.-м.н., ст.н.с. (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)

ИСТОЧНИК ИОНОВ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Вопрос определения состава вещества является ключевым как для ряда проблем фундаментальной и прикладной науки, так и для значительной части технических и технологических задач. Его решение в настоящее время связывают с большим арсеналом методов анализа и вариантов их аппаратурной реализации. К основным методам физико-химического анализа можно отнести хроматографический, мембранный, спектроскопический, люминесцентный, масс-спектрометрический. Последний отличается от остальных высокой аналитической способностью и чувствительностью, универсальностью проводимых с его помощью измерений, возможностью определения химического, элементного и изотопного состава, возможностью полной автоматизации процесса измерения.

Одним из направлений современной масс-спектрометрии является разработка портативных приборов, предназначенных для быстрого анализа состава образца непосредственно по месту его нахождения [1]. Такой анализ необходим в тех случаях, когда перенос образца к стационарному масс-спектрометру может быть связан с его загрязнением, разбавлением, или протеканием в нем химических реакций. Портативные приборы отличаются малым весом и габаритами, низким энергопотреблением. Они рассчитаны на эксплуатацию в полевых условиях, вне лаборатории, не требуют точной юстировки и допускают полную автоматизацию процесса измерения. Подобные приборы также отличаются высокой скоростью анализа. На обработку одного образца тратится несколько минут и менее, вплоть до непрерывного слежения за объектом в реальном масштабе времени. Разрешающая способность малогабаритных приборов порядка нескольких сотен, относительная чувствительность достигает значений 10^{-6} - 10^{-9} , что хуже, чем у лабораторных аналогов, но вполне достаточно для решения довольно большого круга задач. Перечислим некоторые из них.

Портативные масс-спектрометры применяются в космических исследованиях. С их помощью измеряют состав космической плазмы в спутниковых экспериментах. Также подобные приборы используются в экологических исследованиях для контроля загрязнения почвы, воды и воздуха, контроля промышленных выбросов и выхлопных газов автомобилей. В геофизических исследованиях для изучения состава восходящих потоков газа в земной коре. Малогабаритные масс-спектрометры применяются для контроля технологических процессов в промышленности. В частности для измерения примесей в вакуумном производстве, для измерения состава газа в процессе его добычи, переработки и транспортировки.

В лаборатории Ядерной космической физики ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, начиная с 1973 года, проводятся работы по созданию автоматизированных портативных масс-спектрометрических приборов [2, 3]. В настоящее время в лаборатории разрабатывается новый малогабаритный магнитный масс-спектрометр. Благодаря применению магнита с криволинейной выходной границей, удастся совместить малые размеры и вес масс-анализатора с одновременной фокусировкой ионов для широкого диапазона масс (режим масс-спектрографа). В данном режиме концентрации нескольких выбранных масс измеряются одновременно. В то время как в предыдущих масс-спектрометрах измерение производится последовательно путем сканирования ускоряющего напряжения в источнике. Режим масс-спектрографа, помимо очевидных преимуществ, связанных с одновременным наблюдением нескольких масс, дает возможность проводить измерения

при фиксированном ускоряющем напряжении. Фиксация напряжения позволяет снизить его величину. При этом расширяется диапазон измеряемых масс для тех же размеров магнита.

Источник ионов является одним из основных элементов любого масс-спектрометра. В источнике, помимо ионизации вещества, происходит формирование пучка частиц, поступающего на вход масс-анализатора. От характеристик этого пучка зависят аналитические свойства прибора. При разработке масс-спектрометра требуется подбирать параметры источника с учетом особенностей конкретного анализатора. Для этого необходимо создание методики расчета ионно-оптической схемы источника и масс-анализатора. В настоящее время при расчете анализирующей системы используются усредненные характеристики ионного источника.

Целью данной работы является создание методики расчета характеристик ионного пучка, формируемого источником, которая может быть использована в построении единой ионно-оптической схемы масс-спектрометра.

Для решения поставленной задачи разработаны программы, рассчитывающие распределение потенциала внутри источника и траектории движения ионов в этом потенциале. Распределение потенциала вычисляется из уравнения Лапласа конечно-разностным методом [4]. Полученная алгебраическая система решается итерационным методом Зайделя. Расчет траекторий ионов производится путем численного интегрирования уравнения движения обобщенным методом Рунге-Кутты.

С помощью разработанных программ получены пространственные (по ширине пучка), угловые и энергетические распределения ионов на выходе для источников с различными параметрами. Определено влияние параметров источника на ширину получаемых распределений.

Создана экспериментальная установка для проверки проведенных расчетов. Измерены пространственные распределения ионов в пучке для источников различной геометрии.

Первые результаты экспериментальной проверки показали качественное согласие расчета и эксперимента. Количественные различия указывают на несоответствие расчетной и экспериментальной моделей в некоторых деталях. По результатам проверки в расчетную модель необходимо внести поправки, связанные с конструктивными особенностями реального источника.

ЛИТЕРАТУРА:

1. M.V.Wise, C.V.Thompson, R.Merriweather et. al. // *Field Anal. Chem. and Technol.*, 1997, v.1, №5, p.251.
2. V.T.Kogan, A.K.Pavlov, Yu.V.Chichagov et.al. // *Field Anal. Chem. and Technol.*, 1997, v.1, №6, p.331.
3. В.Т.Коган, А.К.Павлов, М.И.Савченко, О.Е.Добычин // *Приб. и Техн. Экс.*, 1999, № 4, с.141.
4. В.П.Ильин. Численные методы решения задач электрофизики. М.: Наука, 1985.