

УДК 621.384.8

© Н. В. Краснов, А. Ф. Кузьмин, А. Н. Арсеньев

ПРОПУСКАНИЕ ИОНОВ В КВАДРУПОЛЬНОМ МАСС-АНАЛИЗАТОРЕ С ПРЕДФИЛЬТРАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАССЫ ИОНА

Экспериментально определены уровни трансмиссии ионов через небольшой квадрупольный масс-анализатор с предфильтрами в зависимости от массы разворачиваемого иона. По результатам записи масс-спектров перфтортрибутиламина в диапазоне массовых чисел 69–502 а.е.м. при $R_{0.1} = M$ в условиях рассматриваемого масс-анализатора показано, что трансмиссия лежит в пределах 10–20 % от 100 %-го пропускания, причем на массе 69 а.е.м. уровень пропускания составляет ~ 20 %, а на массе 502 а.е.м. ~ 10 %. Получена зависимость пропускания от массы иона для всего указанного интервала массовых чисел при $R_{0.1} = M$.

Кл. сл.: квадрупольный масс-анализатор, предфильтры, трансмиссия ионов, масса иона

ВВЕДЕНИЕ

Использование предфильтров [1, 2] в квадрупольных масс-анализаторах [3, 4] позволяет снизить потери ионов во входном краевом поле этого анализатора и повысить его чувствительность, особенно в области тяжелых масс. Наличие предфильтров и особым образом поданных на них потенциалов позволяет изменить характер ионных траекторий во входном поле анализатора в Y -плоскости [4, 5], переведя их из нестабильных в стабильные [1, 6, 7], что при прочих равных условиях приводит к увеличению выходных ионных токов анализатора.

В настоящей работе экспериментально определено пропускание (или, как иначе называют, трансмиссия) ионов через относительно короткий квадрупольный масс-анализатор с предфильтрами, работавший на частоте, близкой к 1 МГц. Пропускание определено в диапазоне масс 69–502 а.е.м. при разрешающей способности $R_{0.1} \approx M$.

ПРИМЕНЕННАЯ АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Квадрупольный масс-анализатор, использовавшийся при проведении экспериментальных работ, имел общую длину, равную 145 мм, при диаметре электродов Ø12 мм. Точность сборки блока электродов лежала в пределах 1.5 мкм, диаметр входного отверстия во входной диафрагме был равен 2.5 мм. Энергетический и угловой разбросы во входном ионном пучке составляли соответственно примерно $\pm 10\%$ и $\pm 5^\circ$. Рабочая частота ВЧ-генератора была равна 0.921875 МГц. Выход-

ные ионные токи усиливались вторично-электронным умножителем ВЭУ-2А. ВЧ-генератор позволял осуществлять развертку масс-спектров в диапазоне массовых чисел 2–520 а.е.м. Начальная энергия ионов как наиболее оптимальная для указанного диапазона масс была выбрана равной 4.5 эВ. В качестве рабочего вещества использовался перфтортрибутиламин.

Пропускание определялось по ионным пикам с массовыми числами 69, 131, 219, 264, 414 и 502 а.е.м. Для определения пропускания использовалась стандартная методика [6], которая заключается в следующем. Масс-анализатор настраивался на регистрацию ионного пика с выбранным массовым числом M (например, $M = 502$ а.е.м.). Ионный пик этой массы сначала записывался при разрешающей способности $R_{0.1} = M$. Затем запись этого ионного пика повторялась при последовательном снижении разрешающей способности до тех пор, пока интенсивность пика, достигнув максимума, далее не возрастала. Это означало, что достигнуто 100 %-ное пропускание ионов данной массы через масс-анализатор.

Уровень пропускания определялся, как выраженное в % отношение интенсивности ионного пика выбранной массы при $R_{0.1} = M$ к интенсивности ионного пика этой массы при 100 %-м пропускании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 1 представлена циклическая запись ионного пика с массовым числом 502 а.е.м. при последовательном уменьшении разрешающей

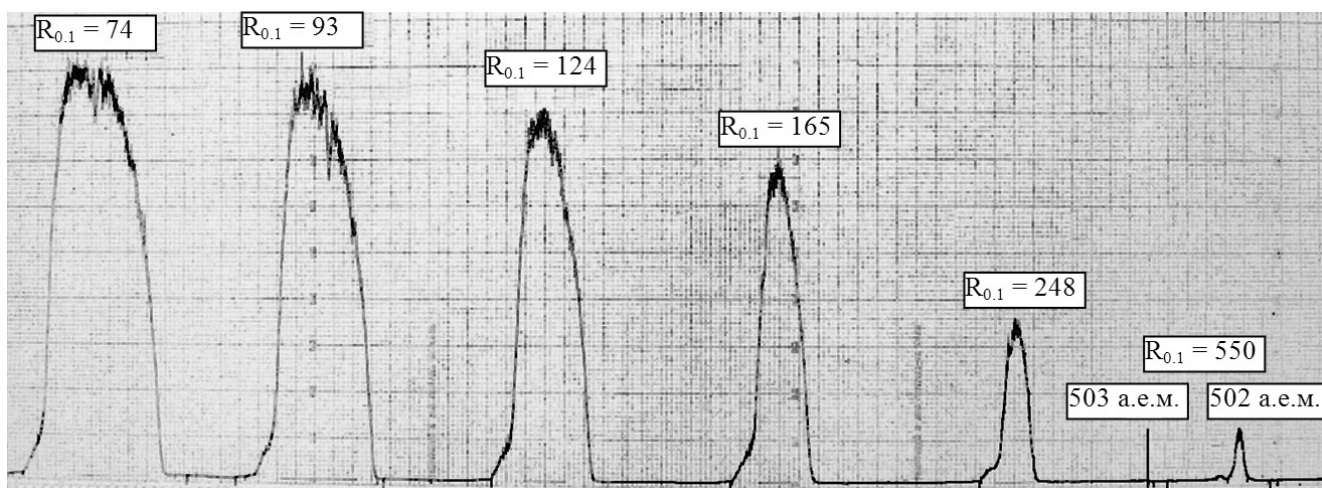


Рис. 1. Циклическая запись ионного пика с массовым числом 502 а.е.м. при последовательном уменьшении разрешающей способности R от $R_{0.1} = 550$ до $R_{0.1} = 74$, соответствующей почти 100 %-му пропусканию ионов с массовым числом 502 а.е.м. через масс-анализатор

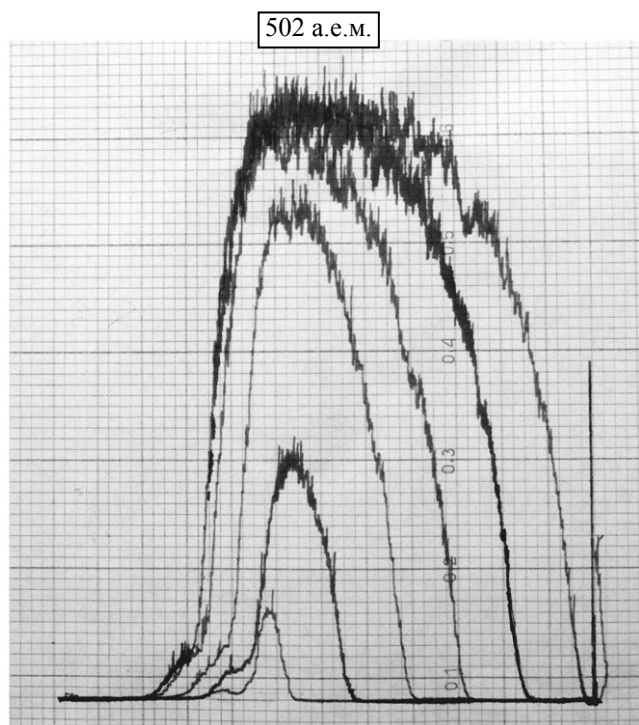


Рис. 2. Ионный пик с массовым числом 502 а.е.м., записанный при последовательном уменьшении разрешающей способности R от $R_{0.1} = 480$ до уровня, соответствующего 100 %-му пропусканию

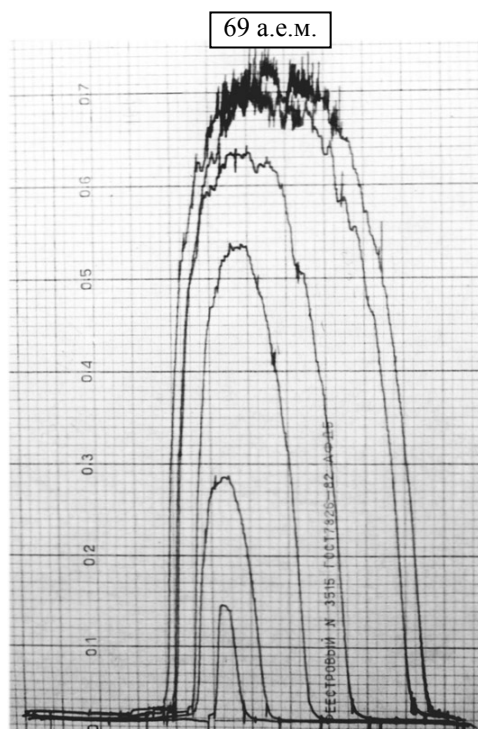


Рис. 3. Ионный пик с массовым числом 69 а.е.м., записанный при последовательном уменьшении разрешающей способности R от $R_{0.1} = M$ до уровня, соответствующего 100 %-му пропусканию

способности от $R_{0.1} = 550$ до $R_{0.1} = 8$, что соответствует 100 %-му пропусканию.

На рис. 2 представлена аналогичная запись ион-

ных пиков с массовым числом 502 а.е.м., на которой наглядно представлено достижение режима 100 %-го пропускания при последовательном

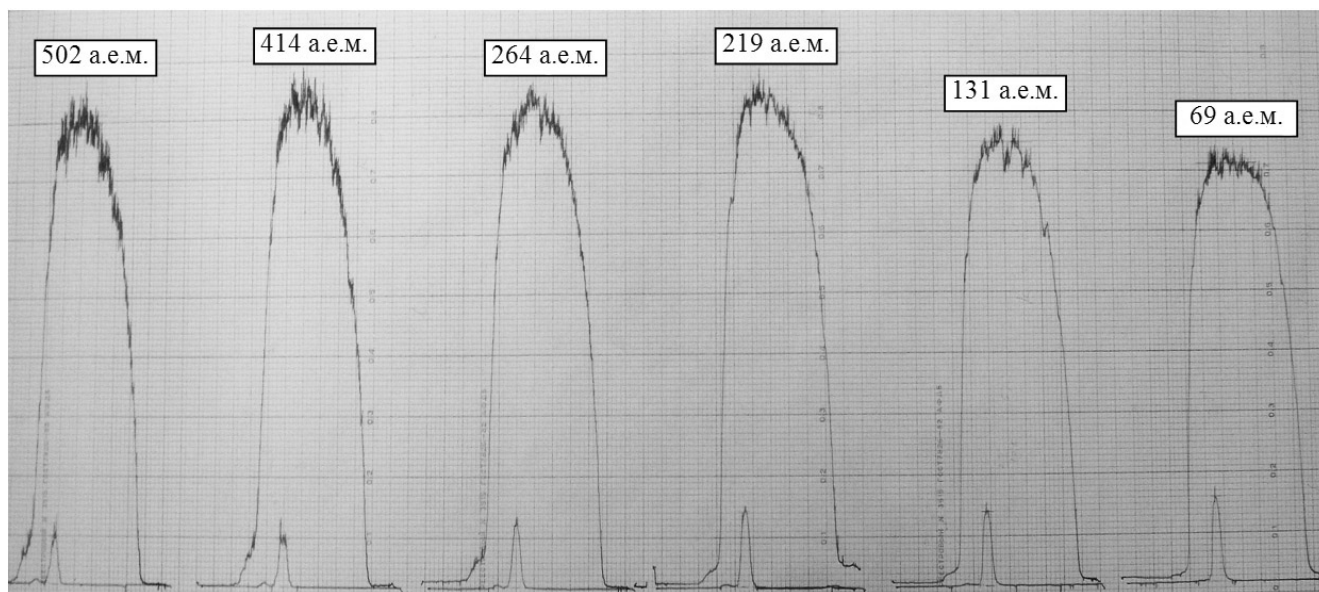


Рис. 4. Ионные пики перфтортрибутиламина с массовыми числами 502, 414, 264, 219, 131 и 69 а.е.м., записанные при $R_{0,1} = M$ и при 100 %-м пропускании (большие пики соответствуют 100 %-му пропусканию, малые — пропусканию ионов этой же массы при $R_{0,1} = M$)

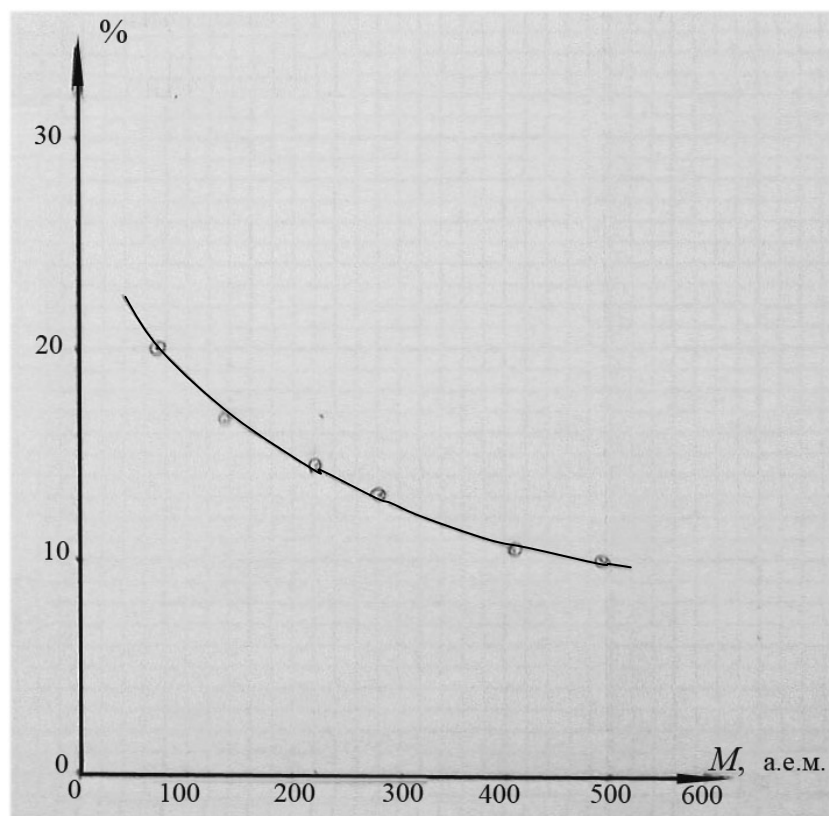


Рис. 5. Пропускание при $R_{0,1} = M$ в квадрупольном масс-анализаторе с предфильтрами в зависимости от массы иона

снижении разрешающей способности. В данном случае развертка масс-спектра запускалась при записи каждого пика на ленте регистрирующего устройства с одной и той же точки и с одного и

того же значения начальной массы. Аналогичная запись ионных пиков с массовым числом 69 а.е.м. представлена на рис. 3.

На рис. 4 приведены результаты записи ионных

пиков с массовыми числами 502, 414, 264, 219, 131 и 69 а.е.м., зарегистрированные при двух уровнях разрешающей способности — $R_{0.1} = M$ и при 100 %-м пропускании, причем большие пики соответствуют 100 %-му пропусканию, а малые — пропусканию ионов той же массы при $R_{0.1} = M$.

На рис. 5 представлена кривая, показывающая зависимость пропускания ионных токов для ионов различных масс в интервале массовых чисел 69–502 а.е.м.

Из приведенных результатов следует, что пропускание в рассмотренном интервале масс в условиях примененного небольшого масс-анализатора с предфильтрами слабо зависит от массы иона и лежит в пределах от ~20 до ~10 %, уменьшаясь в сторону тяжелых масс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение полученных результатов с данными, приведенными в работе [6], показывает, что при использовании квадрупольного масс-анализатора значительно более сложной конструкции, называемого tri-filter [8], причем имеющего значительно большие размеры по сравнению с использованным в настоящей работе (общая длина более 300 мм при длине рабочих электродов ~200, наличие пред- и постфильтров каждый длиной по 50 мм, наличие специальных входной и выходной фокусирующих линз), пропускание может быть увеличено в 2 раза по сравнению с полученным (рис. 5). В работе [6] также показано, что путем перехода от стандартной к резко (в 6 раз) уменьшенной входной апертуре относительное пропускание может быть увеличено еще в 3 раза, но при этом имеет место резкое падение абсолютной чувствительности. На основе изложенного можно считать, что результаты, полученные в настоящей

работе, вполне согласуются с литературными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brubaker W.M. Mass filter with one or more rod electrodes, separated into a plurality of insulated segments. Патент США № 3371204, 1968.
2. Extrel Product, Note GP 203 C. 2005. URL: (www.extrel.com).
3. Paul W., Reinhard H.P., Von Zahn. Das elektrische massenfilter als massenspektrometer und isotopentrenner // Zeitschrift für Physik. 1958. Bd 152. S. 143–182.
4. Dawson P.H. Quadrupole mass spectrometry and its applications. Elsevier Scientific Company, Amsterdam – Oxford – New York, 1976.
5. Mc Lachlan. Theory and applications of Mathieu Functions. Oxford and Clarendon, 1947.
6. Ardara Technologies, Technical Note TN 3004 B. 2004. URL: (www.ArdaraTech.com).
7. Краснов Н.В., Кузьмин А.Ф., Арсеньев А.Н. Дискриминация по массам в квадрупольном масс-анализаторе с предфильтрами при различных уровнях разрешающей способности // Научное приборостроение. 2011. Т. 21, № 4. С. 65–69.
8. Ardara Technologies. Product Summary PS 3501 B. 2004. URL: (www.ArdaraTech.com).

*Институт аналитического приборостроения РАН,
г. Санкт-Петербург*

Контакты: Кузьмин Александр Фёдорович,
star2361@mail.ru

Материал поступил в редакцию 1.12.2011.

ION TRANSMISSION IN THE QUADRUPOLE MASS-ANALYZER WITH PREFILTERS DEPENDING ON ION MASS

N. V. Krasnov, A. F. Kuzmin, A. N. Arsenyev

Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint-Petersburg

Ion transmission levels through a small quadrupole mass-analyzer with prefilters depending on the mass of the developed ion were determined experimentally. The results of mass spectrum records of perfluorotri-nitylamine within the mass number of 69–502 u at $R_{0.1} = M$ in conditions of the mass-analyzer in question showed that transmission is in within 10–20 % from 100 % of the transmission, and on mass 69 u transmis-

sion level makes $\sim 20\%$, and on mass 502 u $\sim 10\%$. Dependence of transmission on ion mass for all the specified intervals of mass numbers at $R_{0,1} = M$ was obtained.

Keywords: quadrupole mass-analyzer, prefilters, ion transmission, ion mass