

12

© 1991

РАЗДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ПО ПОДВИЖНОСТИ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

И.А. Б у р я к о в, Е.В. К р ы л о в,
А.Л. М а к а с ь, Э.Г. Н а з а р о в,
В.В. П е р в у х и н, У.Х. Р а с у л е в

В работе реализован новый метод разделения ионов по подвижности, основанный на зависимости коэффициентов подвижности от напряженности электрического поля. Приведены результаты разделения в атмосфере воздуха многоатомных ионов, образующихся при ионизации молекул третичных аминов методами поверхностной ионизации и ионизации β -излучением. Проведена масс-спектрометрическая идентификация типов разделенных ионов. Сущность метода разделения, предложенного в [1], состоит в следующем.

Скорость дрейфа иона, находящегося в дрейфовом газе под действием электрического поля, равна

$$V = K \cdot E,$$

где E – напряженность электрического поля, K – коэффициент подвижности, зависящий от масс иона и частиц дрейфового газа, потенциала их взаимодействия, температуры и давления газа, а также напряженности электрического поля E . Зависимость $K(E)$ можно представить в виде [2]:

$$K(E) = K(0) [1 + \alpha_2 E^2 + \alpha_4 E^4 + \dots],$$

где α_2, α_4 – коэффициенты при степенях разложения, $K(0)$ – коэффициент подвижности в исчезающе малом поле, достаточно точно измеренный для ряда соединений, например, аминов [3].

Если ограничиться квадратичным членом разложения, то ионы под действием периодического (с периодом T), несимметричного по полярности электрического поля $E_p(t)$, удовлетворяющего условиям

$$\int_0^T E_p(t) dt = 0; \quad \int_0^T E_p^3(t) dt \neq 0$$

будут дрейфовать вдоль силовых линий поля с характерной для данного типа ионов скоростью [1]:

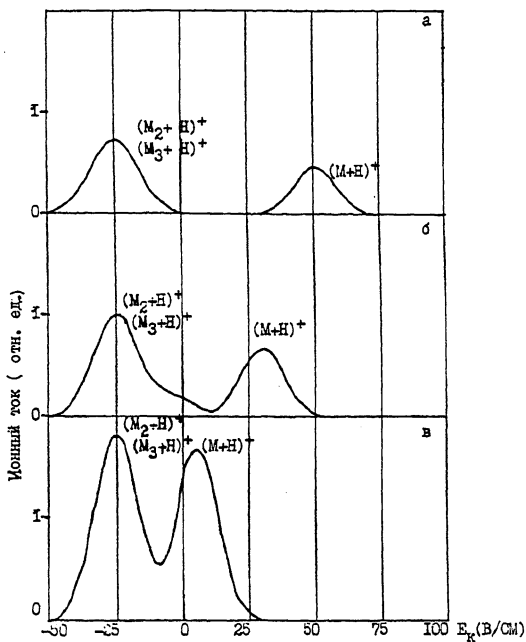


Рис. 1. Дрейф-спектры полного тока при ионизации β -излучением. а - ТЭА, б - ТПА, в - ТБА.

$$V_x = \frac{K(0)\alpha_2}{T} \int_0^T E_p^3(t) dt.$$

Эту скорость можно скомпенсировать с помощью слабого постоянного поля E_K . Из условия компенсации ($V_x = K(0)E_K$) можно получить, с учетом малости E_K , выражение для α_2 .

$$\alpha_2 = E_K / (E_p^3 \cdot F),$$

где $E_p = \max |E_p(t)|$, $F = 1/TE_p^3 \cdot \int_0^T E_p^3(t) dt$ - функционал, характеризующий влияние формы поля. Так как коэффициент α_2 для каждого типа ионов имеет индивидуальное значение, то и значения E_K при заданном $E_p(t)$ будут различны, что позволяет разделять ионы по типам. Меняя E_K , можно последовательно скомпенсировать V_x для каждого типа ионов и получать спектры подвижности смеси ионов - дрейф-спектры [4].

Экспериментальная установка включала в себя динамическую систему подготовки пробы, камеру ионизации, камеру разделения и систему регистрации.

Динамическая система подготовки пробы обеспечивала разбавление концентрации исследуемых веществ триэтиламина (ТЭА),

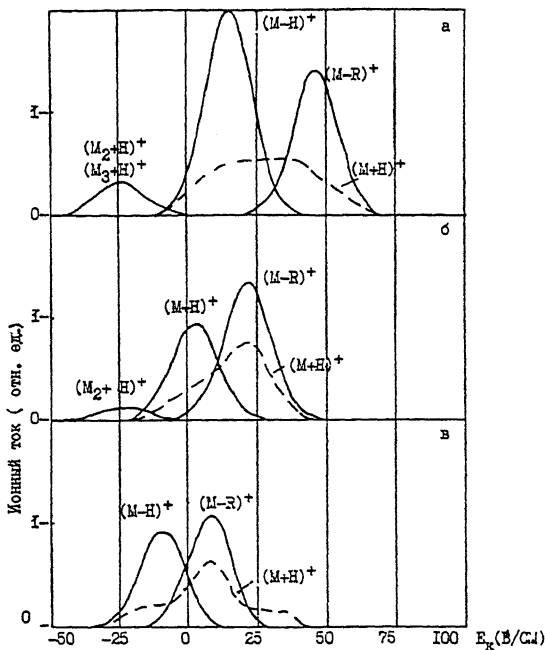


Рис. 2. Дрейф-спектры ионов при ПВИ. а - ТЭА, б - ТПА, в - ТБА, полученные путем настройки масс-спектрометра на определенные массы.

три-*n*-пропиламина (ТПА), три-*n*-бутиламина (ТБА) в 10^5 раз от давления насыщенного пара. Газ-разбавитель - лабораторный воздух (температура 20 °С; влажность 60 %).

Камера ионизации - цилиндрическая полость 0.5x0.5 см, в которую устанавливали либо поверхностно-ионизационный источник (ПВИ) из молибденовой проволоки (0.2 мм), либо тритиевый β -источник (фольга 0.5x1.5 см).

Разделение ионов по подвижности осуществлялось в зазоре (0.5 мм) вдоль двух проводящих плоскопараллельных электродов (5 x 15 мм), на которые подключали напряжения, вызывающие в зазоре поля $E_p(t)$ и E_k . $E_p=18.5$ кВ/см; $T=0.5$ мкс. E_k меняли во времени линейно в пределах от -200 до +400 В/см.

Система регистрации ионов позволяла определять массовые числа разделенных по подвижности ионов и была выполнена на основе масс-сепаратора МХ73304 с двухступенчатой системой дифференциальной откачки [5]. Объемный расход анализируемой смеси определялся системой откачки масс-спектрометра и был равен 2 л/мин. Эксперименты проводились в следующих режимах, дающих взаимодополняющую информацию:

Значение коэффициента α_2 для различных ионов органических веществ
гомологического ряда третичных аминов

Тип иона и способ ионизации	Вещество	M/z	$\alpha_2 \cdot 10^{10}$, $\frac{\text{см}^2}{\text{В}^2}$
$(M+H)^+$ β	ТЭА	102	3.2
	ТПА	144	1.9
	ТБА	186	0.38
$(M-H)^+$ ПвИ	ТЭА	100	0.72
	ТПА	142	0.14
	ТБА	184	-0.2
$(M-R)^+$ ПвИ	ТЭА	86	2.1
	ТПА	114	1.0
	ТБА	142	0.32
$(M_n + H)^+$ $n=2.3$ β	ТЭА	203, 204	-0.47
	ТПА	287	-0.47
	ТБА	$(M_n + H)$	-0.47

1. Запись масс-спектров при отсутствии разделения по подвижности ($E_p=0$).
2. Запись дрейф-спектров при работе масс-спектрометра в режиме регистрации полного ионного тока (без сепарации ионов по массам).
3. Запись масс-спектра при фиксированных значениях E_k (на вершинах пиков дрейф-спектров).
4. Запись дрейф-спектра ионов при настройке масс-спектрометра на определенную массу иона.

По совокупности экспериментальных результатов установлено:

- при ионизации ТЭА, ТПА и ТБА β -излучением наряду с протонированными ионами $(M+H)^+$ регистрировались комплексные ионы $M(M+H)^+$ и $M_2(M+H)^+$, где M - молекулы аминов, H - атом водорода.

- при поверхностной ионизации этих соединений получены ионы $(M+H)^+$, $(M-H)^+$, $(M-R)^+$, а также обнаружены комплексные ионы $M_2(M+H)^+$, $M_2(M-H)^+$, $M_2(M-R)^+$, где R - алкильный радикал, находящийся в β -положении относительно атома азота.

Описанный метод позволяет эффективно разделять ионы непосредственно в воздухе при атмосферном давлении. На рис. 1 и 2 приведены спектры подвижности для ТЭА, ТПА, ТБА, полученные при ионизации этих веществ β -излучением и ПВИ соответственно. Видно, что дрейф-спектры разных веществ отличаются между собой и зависят от способа ионизации.

Зависимости коэффициента подвижности ионов от напряженности электрического поля в атмосферном воздухе для разных веществ существенно различаются. Значения коэффициентов α_2 сведены в таблицу, из которой следует, что чем больше масса однотипных ионов гомологического ряда, тем меньше α_2 .

Наличие интенсивных линий $(M+H)^+$ в масс-спектрах ПВИ при атмосферном давлении, особенность формы и положения пиков этих ионов в дрейф-спектрах (изображенных штриховыми линиями на рис. 2), совпадающая с положением пиков ионов $(M-H)^+$, $(M-R)^+$, может быть объяснена образованием ионов $(M+H)^+$ после камеры разделения с обязательным участием ионов $(M-R)^+$ и $(M-H)^+$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Горшков М.П. А. с. 966583 СССР, МКИ 01 27/62. Оpub. 15.10.82. Бюл. № 38.
- [2] Мак-Даниель И., Мэзон Э. Подвижность и диффузия многоатомных ионов в газах. М.: Мир, 1976.
- [3] Каргаэ Z. // An. Chem. 1989. V. 61. P. 684-689.
- [4] Аваков А.С., Буряков И.А., Крылов Е.В., Назаров Э.Г., Расулев У.Х., Солдатов В.П.//

Мат. УШ Всесоюз. конф. „Физика низкотемпературной плазмы.“ Ташкент, 1987. Ч. 1. С. 21.

- [5] Макасы А.Л., Назаров Э.Г., Первухин В.В., Расулєв У.Х. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 12. С. 41-45.

Поступило в Редакцию

23 апреля 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 12

26 июня 1991 г.

04; 12

© 1991

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА
ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ

А.А. Богомаз, В.Л. Горячев,
А.С., Ременны й, Ф.Г. Рутберг

Бактериальное действие импульсных разрядов известно [1, 2]. Однако до настоящего времени остается неясным физический механизм обеззараживающего действия разряда и энергетическая эффективность этого процесса. Это обстоятельство затрудняет разработку установок, необходимых для решения одной из важнейших экологических задач - биологической очистки сточных и бытовых вод.

Известно, что электрический разряд в воде [3] сопровождается образованием газоплазменного каннла относительно малого диаметра ($d = 10^{-3} - 10^{-1}$ мм), окруженного многочисленными микроканалами в области размером (5-10) мм. В зависимости от величины вложенной энергии в разряд и скорости ввода движение границы плазменного канала приводит либо к появлению акустических колебаний жидкости, либо к образованию в ней ударных волн. Кроме того, плазма является достаточно мощным источником ультрафиолетового излучения. Если учесть, что в плазменном столбе и микроканалах образуются ионы, радикалы и гидратированные электроны [4], то можно предположить, что бактерицидное действие импульсного электрического разряда обусловлено следующими воздействиями.

1. Локальное воздействие. Сосредоточено в области плазменных образований и обусловлено воздействием гидратированных электронов, ионов и активных радикалов. Это воздействие гидратированных электронов, ионов и активных радикалов. Это воздействие аналогично радиационному [5].