

ОЛЬХОВСКАЯ Т.И., СВИЧКАРЬ А.С.,
ЮФЕРОВ В.Б., докт. техн. наук

ИОННО-ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗАТОРА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

На данный момент ни в одной стране мира нет полностью замкнутого топливного цикла и практически все отработанное ядерное топливо (ОЯТ) отправляется на вечное хранение. Ранее проводилась разработка физических принципов плазменной переработки ОЯТ на демонстрационном плазменном сепараторе [1]. Однако для однозначного подтверждения работоспособности метода необходимо провести массовый анализ уходящих ионов плазмы.

Целью данной работы является создание анализатора, позволяющего разделять смесь по массовым группам и определять их количество.

Разделение по массам происходит при движении предварительно ускоренных в электрическом поле заряженных частиц – ионов – в магнитном поле [2]. Радиус траектории частицы, прошедшей разность потенциалов U во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях, будет определяться отношением M/e : $R = \sqrt{2MU/e} \cdot c/H$, где M – масса частицы, e – заряд частицы, H – напряженность магнитного поля. Таким образом, ионы, прошедшие через магнитное поле, будут разделены по их массам.

Масс-анализатор должен подсоединяться к плазменному сепаратору, как показано на рис. 1а. Но вначале необходимо создать и проверить работоспособность анализатора. Для этого нужно создать отдельный ионный источник (рис. 1б). На рис. 1 цифрами обозначено: 1 – сепарационная камера; 2 – система откачки; 3 – приемник ионов. Для эффективной работы анализатора в камере достаточно обеспечить вакуум на уровне 10^{-5} Торр.



Рис. 1. Структурная схема масс-анализатора при подсоединении к сепаратору (а) и в общем случае (б)

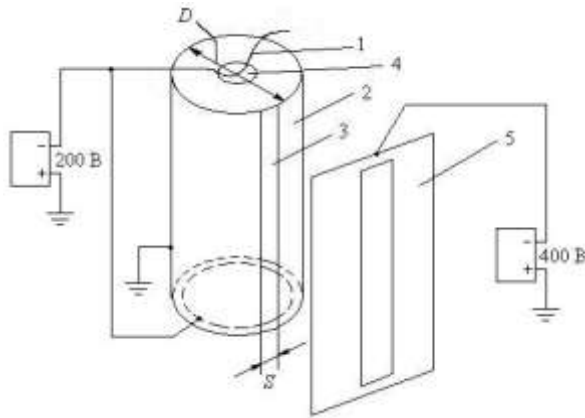


Рис. 2 Структурная схема источника ионов (иммерсионная линза).

Источник ионов имеет вид, показанный на рис.2.

- 1 – катод;
- 2 – камера источника ионов, где происходит ионизация остаточного газа электронами;
- 3 – отверстие ионной эмиссии;
- 4 – отверстие электронной эмиссии;
- 5 – вытягивающая пластина

В объеме и на граничных поверхностях разрядной камеры источника происходят элементарные процессы газового разряда: диссоциация молекул, ионизация атомов, рекомбинация заряженных частиц и др. [3]. Уравнение ионизации и уравнение процесса перезарядки имеют следующий вид:

$$\frac{dn^+}{dt} = -\sigma_{01}n^-n_0V; \quad \frac{dn^-}{dt} = -\sigma_{10}n^+n_0V, \quad (1)$$

где n^+ , n^- , n_0 – концентрации положительных ионов, электронов в пучке и нейтрального газа соответственно; σ_{01}, σ_{10} – сечения превращения нейтрального атома в положительный ион и положительного иона в нейтральный атом соответственно; V – скорость движения пучка.

Ток положительных ионов в камере определяется соотношением: $I^+ \approx n_0I^-\sigma_{01}LS_1/S$, где I^- – ток электронов; L – длина отверстия эмиссии; S_1/S – вероятность выхода ионов через отверстие ионной эмиссии ($S_1/S = S_1/\pi D$).

Подстановка приблизительных значений ($n_0 = 3,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; $\sigma_{01} = 3 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$; $S_1/S = 2/60 \approx 3 \cdot 10^{-2}$; $L = 1 \text{ см}$) дает следующее соотношение между I^+ и I^- : $I^+ \approx 3 \cdot 10^{-6} I^-$. Значит, при $I^- = 1 \text{ мА}$ имеем ионный ток $3 \cdot 10^{-9} \text{ А}$, что создает определенные трудности при его регистрации.

Выбор магнитной системы для анализатора рассмотрен в работе [4].

Список литературы: 1. Юферов В.Б., Друй О.С., Ильичева В.О., Швец О.М., Винников Д.В., Ковтун Ю.В. Резонансный плазменный сепаратор для разделения изотопов. Выбор параметров // Вестник НТУ «ХПИ». Серия. Электроэнергетика и преобразовательная техника. №35. 2004.С. 169-179. 2. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2 т. Т.1/ Под ред. В.Ю.Баранова.–М.:

ФИЗМАТЛИТ, 2005.—600 с. **3.** *Габович М.Д.* Физика и техника плазменных источников ионов.—М.: Атомиздат, 1972. **4.** *Свичкарь А.С., Ольховская Т.И., Юферов В.Б.* Выбор магнитной системы магнитного масс-анализатора ионов (в печати).