

К ВЫВОДУ УРАВНЕНИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПИЧЕСКИХ ИОНОВ ПРИ ИОНООБМЕННОЙ ЭКСТРАКЦИИ В СИСТЕМЕ ЖИДКИЙ ИОНИТ — РАСТВОР

И. А. ТИХОМИРОВ, В. В. ЛАРИОНОВ, А. П. ВЕРГУН, В. Т. ДОРЕНИН

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

В настоящее время в литературе имеется обширный материал по описанию процесса разделения ионов с близкими свойствами, в том числе и изотопических ионов. Однако большинство исследований такого характера выполнено применительно к изотопному обмену. В данной работе мы попытаемся вывести общее уравнение процесса разделения изотопических ионов для случая ионообменной экстракции.

Предположим, что в начале процесса устанавливается обычное ионообменное равновесие в двухфазной системе жидкость — жидкость. Далее происходит перераспределение изотопических ионов и более легкий изотоп переходит в фазу жидкого ионита. Фазы движутся в разделительной колонке противотоком. Потoki вещества в фазе ионита и в растворе схематично представлены на рис. 1. Обозначения на рисунке следующие:

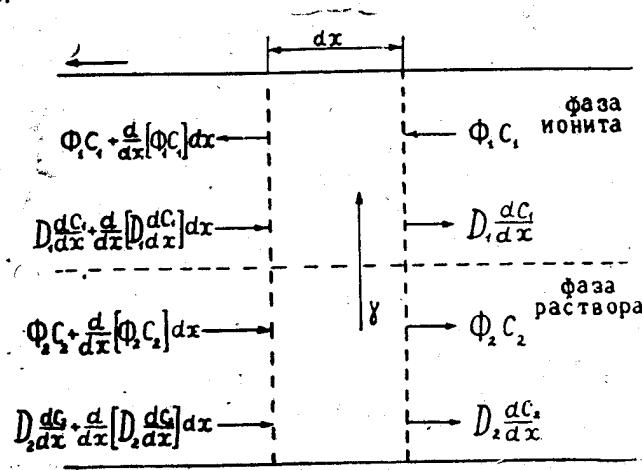


Рис. 1

Φ_1 — поток вещества в ионите,
 Φ_2 — поток вещества в растворе,
 γ — поток легкой компоненты из раствора в ионит,
 C_1 — концентрация легкой компоненты в ионите,

C_2 — концентрация легкой компоненты в растворе,
 D_2 и D_1 — коэффициенты диффузии, соответственно, в растворе и ионите.

Выделим элемент dx и составим баланс по легкой компоненте. Процесс рассматривается для $t \neq 0$. Растворением жидкого ионита в растворе ввиду малости пренебрегаем.

Баланс по легкой компоненте запишется:

$$\frac{d}{dx} \left(\Phi_1 C_1 - D_1 \cdot \frac{dC_1}{dx} \right) = \gamma, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dx} \left(\Phi_2 C_2 + D_2 \cdot \frac{dC_2}{dx} \right) = \gamma.$$

Условие стационарности здесь не выполняется только в начальный момент времени, когда происходит накопление по веществу. Изменение потоков Φ_1 и Φ_2 происходит вследствие общего переноса γ_0 смеси изотопов из раствора в ионит. Изотопное перераспределение носит конкурентный характер

$$\frac{d\Phi_1}{dx} = -\gamma_0, \quad (2)$$

$$\frac{d\Phi_2}{dx} = -\gamma_0. \quad (3)$$

Вычитая уравнение (3) из уравнения (2), получим:

$$\frac{d\Phi_1}{dx} - \frac{d\Phi_2}{dx} = 0, \quad (4)$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 = q_k = \text{const}. \quad (5)$$

Если принять, что D_1 и D_2 малы, т. е. перемешивание по оси отсутствует, то уравнение (1) запишется:

$$\frac{d}{dx} (\Phi_1 C_1) = \gamma, \quad \frac{d}{dx} (\Phi_2 C_2) = \gamma. \quad (6)$$

Подставив в одно из уравнений (6) уравнение (2), получаем

$$\Phi_1 \frac{dC_1}{dx} = \gamma + \gamma_0 C_1. \quad (7)$$

Для $C_1 \ll 1$ уравнение (7) преобразуется к виду

$$\Phi_1 \frac{dC_1}{dx} = \gamma. \quad (8)$$

Можно показать, что [1]

$$\gamma = \Phi_0 [\varepsilon C_1 (1 - C_1) - (C_1 - C_2)]. \quad (9)$$

Далее, вычитая уравнение (1) одно из другого и интегрируя, имеем:

$$\Phi_1 C_1 - \Phi_2 C_2 - D_1 \frac{dC_1}{dx} - D_2 \frac{dC_2}{dx} = q_k \cdot C_k = \text{const}, \quad (10)$$

где q_k — поток отбора на „богатом“ конце колонны,
 C_k — концентрация отбираемого изотопа.

Уравнение (5) запишем:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + q_k. \quad (11)$$

Легко видеть, что при $q_k \ll 1$ из уравнения (8) получается следующее выражение:

$$\frac{dC_1}{dx} \approx \frac{dC_2}{dx}. \quad (12)$$

Тогда уравнение (10) упрощается:

$$\Phi_1 C_1 - \Phi_2 C_2 - D_3 \frac{dC_1}{dx} = q_k \cdot C_k, \quad (13)$$

где

$$D_3 = D_1 + D_2.$$

Отсюда находим выражение для $C_1 - C_2$ и подставляем его в уравнение (9). После преобразования получим

$$\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0} + \frac{D_3}{\Phi_2} \right) \frac{dC_1}{dx} = \varepsilon C_1 (1 - C_1) - \frac{q_k (C_k - C_1)}{\Phi_2}. \quad (14)$$

Выражение $\frac{\Phi_1}{\Phi_0} + \frac{D_3}{\Phi_2}$ — есть обратная величина высоты эквивалентной теоретической тарелки. Тогда

$$dn = \frac{dx}{\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0} + \frac{D_3}{\Phi_2} \right)}. \quad (15)$$

Окончательно имеем, опуская индексы:

$$\frac{dC}{dn} = \varepsilon C (1 - C) - \frac{q_k (C_k - C)}{\Phi_2}. \quad (16)$$

Таким образом, уравнение приобретает вид общего уравнения каскада для разделения изотопов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Розен. Теория разделения изотопов в колонках. Атомиздат, М., 1960.