

В. Г. СЕВАСТЬЯНОВ, В. П. СОЛОВЬЕВ

ВОЗМОЖНОСТЬ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ
НЕКОТОРЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Общее уравнение баланса массы, записанное в эйлеровой системе координат [1], справедливо, в частности, для i -го компонента системы, представляющей собой высоко-чистое вещество:

$$\int_V \frac{\partial \rho_i}{\partial t} dV = - \oint I_i dS + \int \sigma_i dV. \quad (1)$$

Здесь ρ_i — плотность (i -го компонента);

S — граничная поверхность вещества объемом V ; I_i — плотность потока компонента i через S ; σ_i — плотность внутреннего источника компонента i ; t — время.

Из уравнения (1) следует, что вещественный состав системы может меняться как вследствие массообмена системы с окружающей средой (член (а) уравнения (1)), например в процессе очистки или хранения, так и вследствие внутренних превращений (член (б) уравнения (1)).

Одним из случаев внутренних превращений является радиоактивный распад; если радиоактивная система замкнута ($I_i=0$ для V_i), тогда уравнение (1) упрощается до

$$\int_V \frac{d\rho_i}{dt} dV = \int_V \sigma_i dV. \quad (2)$$

Предположим, что основной компонент (j), по которому вещество названо высокочистым, радиоактивен, тогда накопление примесей в замкнутой системе будет обусловлено его радиоактивными превращениями. Считая систему однородной, из (2) с учетом закона радиоактивного распада [2] получим:

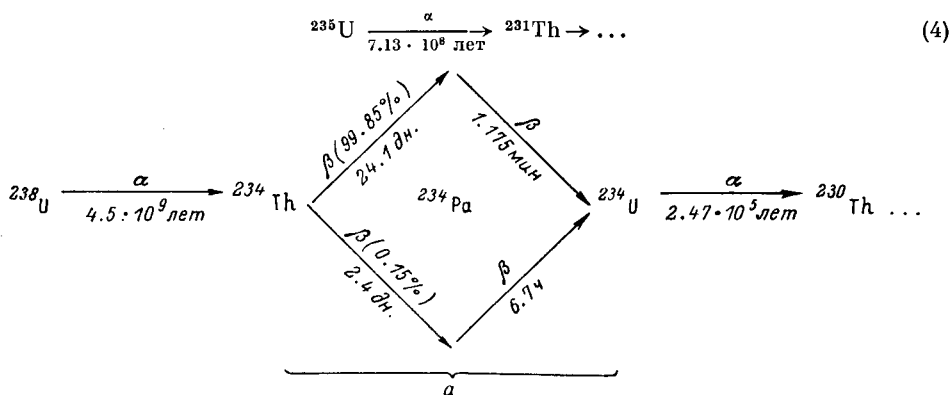
$$\frac{d\rho_j}{dt} \cdot V = \frac{dm_j}{dt} = \sigma_j V = -km_j. \quad (3)$$

Здесь k — суммарная константа всевозможных радиоактивных превращений компонента j в другие компоненты (примеси).

Рассмотрим пример. Пусть получен идеально чистый природный уран (мольная доля урана в системе $N_U=1$), который имеет следующий естественный состав изотопов [3]:

^{238}U	—	99.2739	масс.%
^{235}U	—	0.7204	масс.%
^{234}U	—	0.0057	масс.%

Уран будет загрязняться вследствие следующих радиоактивных превращений [2]:



(Над стрелкой дан вид распада, под стрелкой — период полураспада T).

Превращениями (а) пренебрегаем ввиду малых величин их T относительно T урана. В таком случае накопление примесей будет обусловлено радиоактивным распадом изотопов ^{235}U и ^{234}U . Используя уравнение (3) в интегральной форме, получим, что, например, через год ($t=1$ год) в идеально чистом, изолированном от внешней среды образце урана накопится

$$\begin{aligned}
 & \left[1 - \exp\left(-\ln 2 \frac{t}{T(^{235}\text{U})}\right) \right] \cdot 0.7204\% + \\
 & + \left[1 - \exp\left(-\ln 2 \frac{t}{T(^{234}\text{U})}\right) \right] \cdot 0.0057\% \approx 1.67 \cdot 10^{-8} \text{ масс.}\% \text{ примесей.}
 \end{aligned}$$

Отсюда видно, что природный уран можно получить в высокочистом состоянии, так как радиоактивное самозагрязнение является незначительным (по сравнению с содержанием примесей в современных высокочистых веществах [4]).

Считая по-прежнему, что процесс очистки позволяет получить идеально чистый уран, в котором уже через месяц (к моменту анализа или применения) накопится около $2 \cdot 10^{-9}$ масс. % примесей, можно вполне предположить, что получение урана с содержанием примесей менее 10^{-10} масс. % недостижимо.

В общем случае, если Δt — промежуток времени между получением и анализом (или применением) радиоактивного простого вещества, по (3) получим: чтобы к концу Δt в указанном веществе накопилось менее 10^{-2} масс. % примесей (предельная величина суммы примесей для большинства высокочистых веществ [4]), оно должно иметь $T \cong 7000 \Delta t$.

Итак, при получении некоторых веществ, в частности радиоактивных, в высокочистом состоянии необходимо учитывать время существования их в указанном состоянии. В частности, по-видимому, радиоактивность урана не позволит получить уран с суммарным содержанием примесей менее 10^{-10} масс. %

Л и т е р а т у р а

- [1] Дьярмати И. — Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы. — М.: Мир, 1974, с. 49.
- [2] Westermann K., Näser K.-H., Gruhl K. H. — Anorganische Chemie. — Leipzig: VEB Verlag, 1975, S. 236—237.
- [3] Несмеянов Ан. Н. — Радиохимия.—М.: Химия, 1972, с. 303.
- [4] Уэно К. — Кагаку то когё, 1976, т. 29, с. 101.

(Получено 3 X 1978)