

Задача 5. Для регенерации выдыхаемого воздуха на подводных лодках или орбитальных станциях обычно используют картриджи с твёрдыми бинарными соединениями **А** и **Б**, образованные металлами одной группы Периодической системы химических элементов. Известно, что массовая доля кислорода в **А** составляет 41,03 %, в то время как в **Б** она немного больше – 45,07 %. После полного использования картриджей в них остаются только индивидуальные соли – **В** и **Г** соответственно (*реакции 1 и 2*). Соль **В** окрашивает бесцветное пламя в жёлтый цвет и реагирует с соляной кислотой с выделением газа (*реакция 3*). **Г** даёт светло-фиолетовое окрашивание пламени и малорастворимое вещество при взаимодействии с хлоридом бария (*реакция 4*).

1. Определите формулы веществ **А–Г**. Ответ подтвердите расчётом.
2. Напишите уравнения *реакций 1–4*.
3. В каком мольном соотношении необходимо взять вещества **А** и **Б** для наполнения регенерирующего картриджа, чтобы общее давление в системе при его использовании не менялось.
4. Какую минимальную массу смеси из п. 3 надо загрузить в картридж, чтобы регенерировать углекислый газ, выдыхаемый 4 членами экипажа за полёт длительностью 66 дней, если известно, что человек выдыхает в среднем 800 г углекислого газа в сутки.

Рекомендации к решению

Установим формулу бинарных соединений **А** и **Б**, исходя из массовой доли кислорода в них, считая, что формула каждого из них – X_2O_n :

$$\omega(O) = \frac{n \cdot M(O)}{2 \cdot M(X) + n \cdot M(O)}$$

$$M(X)_A = \frac{M(O) \cdot (1 - \omega(O))}{2 \cdot \omega(O)} \cdot n = \frac{16,000 \cdot (1 - 0,4103)}{2 \cdot 0,4103} \cdot n = 11,5 \cdot n$$

$$M(X)_B = \frac{M(O) \cdot (1 - \omega(O))}{2 \cdot \omega(O)} \cdot n = \frac{16,000 \cdot (1 - 0,4507)}{2 \cdot 0,4507} \cdot n = 9,75 \cdot n$$

Поскольку при взаимодействии соединений **А** и **Б** с диоксидом углерода выделяется кислород, они являются пероксидами или надпероксидами активных металлов. Путём несложного перебора приходим к пероксиду натрия **А** – Na_2O_2 и надпероксиду калия **Б** – KO_2 (или K_2O_4). При их взаимодействии с диоксидом углерода образуются карбонаты натрия и калия соответственно **В** – Na_2CO_3 и **Г** – K_2CO_3 .

Уравнения *реакций 1–4*:

- 1) $2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$
- 2) $4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$ или $2K_2O_4 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$
- 3) $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2$
- 4) $K_2CO_3 + BaCl_2 \rightarrow BaCO_3 \downarrow + 2KCl$

В ходе первой реакции из 2х моль CO_2 образуются х моль O_2 , во второй – из 2у моль CO_2 – 3у моль O_2 . Поскольку общее давление в системе не изменяется, общее количество CO_2 и кислорода совпадают:

$$2x + 2y = x + 3y$$

$$x = y$$

Согласно нашему предположению, в картридже должно быть $2x = 2y$ моль Na_2O_2 и $4y$ моль KO_2 , что говорит о мольном соотношении веществ 1:2.

Рассчитаем общее количество CO_2 , выдыхаемого членами экипажа за указанный промежуток времени:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{800 \text{ г} \cdot 66 \cdot 4}{44 \text{ г/моль}} = 4800 \text{ моль}$$

Тогда в каждую реакцию должно вступить ровно половина из указанного количества, то есть по 2400 моль. Для поглощения такого количества CO_2 необходимо 2400 моль Na_2O_2 и 4800 моль KO_2 соответственно. Рассчитаем минимальную массу смеси, которую нужно загрузить в картридж:

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2) = M(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot n(\text{Na}_2\text{O}_2) = 78 \text{ г/моль} \cdot 2400 \text{ моль} = 187,2 \text{ кг}$$

$$m(\text{KO}_2) = M(\text{KO}_2) \cdot n(\text{KO}_2) = 71 \text{ г/моль} \cdot 4800 \text{ моль} = 340,8 \text{ кг}$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}_2\text{O}_2) + m(\text{KO}_2) = 187,2 \text{ кг} + 340,8 \text{ кг} = 528 \text{ кг}$$

Критерии оценивания	
1. Установление формул веществ А и Б Установление формул веществ В и Г	по 3 балла по 1 баллу
2. Уравнения <i>реакций 1-4</i>	по 1 баллу
3. Определение мольного соотношения веществ в картридже	4 балла
4. Расчёт общей массы веществ в картридже	4 балла
Итого	20 баллов

