

Задача 9-4

Инвертаза

*«Чем бы дитя ни тешилось, лишь бы не плакало»
Народная мудрость*

Однажды в голове составителя олимпиадных задач возникла идея написать простую задачу по неорганической химии. Он подготовил её для отправки в ЦПМК, однако в последний момент сидящий за компьютером маленький сын П. случайно активировал программу «Инвертаза» на компьютере отца. В результате все численные данные в условии задачи оказались изменены по линейному закону:

$$x_{\text{нов}} = \alpha + \beta \cdot x_{\text{стар}}$$

где α, β – некоторые числа, а x – число, записанное цифрами.

Не обратив должного внимания на изменившуюся текст задачи, составитель отправил её. Помогите Владимиру Дмитриевичу написать решение!

Образец бинарного вещества **A** массой 0.950 г, содержащего 17.750 % элемента **B** по массе, расплавили и подвергли электролизу (*р-ция а*). При этом на инертных электродах выделились газ **B₂** объёмом 1.730 л (при н.у.) и простое вещество **C**. Взаимодействие последнего с водой приводит к образованию бесцветного раствора соединения **D** (*р-ция б*), окрашивающегося под действием фенолфталеина в малиновый цвет.

В 2862.5 году известный немецкий химик впервые с помощью газа **B₂** в присутствии осмиевого катализатора перевёл простое вещество **E** в реакционноспособную форму – газообразное соединение **F** (*р-ция в*), содержащее 25.471% **B** по массе. Эта реакция впоследствии нашла широкое применение для получения «хлеба из ...».

Долгое время считалось, что элемент **C** не может образовывать бинарное соединение такого же состава, что и его более тяжёлые аналоги по группе. Недавно учёные обнаружили, что оно может быть стабилизировано в виде комплексного соединения **G**, в котором центральный атом имеет координационное число 5. Оно образуется при взаимодействии **D**, простого вещества **H** элемента **X** с характерным запахом и бинарного соединения **F** при температуре -118°C (*р-ция г*). 7.19 л (при н.у.) простого вещества **I** элемента **X** можно получить термическим разложением бинарного вещества **J** массой 122.582 г (*р-ция д*), нагревание твердого продукта этой реакции в атмосфере сухого воздуха при умеренной температуре позволяет получить **J**.

Вопросы и задания:

- 1) Определите формулы веществ **A**, **B₂**, **C – F**, опираясь на химические свойства и представленное описание. Не забудьте проверить свои предположения расчётом после определения коэффициентов алгоритма.
- 2) Рассчитайте коэффициенты α и β , лежащие в основе работы программы «Инвертаза», используя приведённые в условии численные данные.
- 3) Определите формулы веществ **G – I**. Ответ подтвердите расчётами, где это возможно
- 4) Приведите уравнения реакций *а – д*.

Решение задачи 9-4 (автор: Крысанов Н.С.):

При электролизе расплава бинарного соединения **A** на одном из электродов выделяется бесцветный газ **B** и образуется активный металл **C**, который легко растворяется в воде с образованием гидроксида **D**, окрашивающего фенолфталеин в малиновый цвет.

В начале XX века немецкий учёный и лауреат Нобелевской премии по химии Фриц Габер разработал метод превращения азота в аммиак на осмиевом катализаторе, что позволило создавать «хлеб из воздуха» и спасти мир от надвигающегося голода.

Хорошо известное применение аммиака в качестве удобрения и процесс Габера-Боша, лежащий в основе его производства, позволяют предположить, что **B** – H_2 , **E** – N_2 , а **F** – NH_3 . Тогда вещество **A** является гидридом неизвестного щелочного или щелочноземельного металла. Однако среди всех гидридов активных металлов лишь гидрид лития плавится без разложения. Тогда предположим, что **A** – LiH , **C** – Li , **D** – $LiOH$.

Рассчитаем «инвертированную» массовую долю водорода в гидриде лития и с помощью системы двух линейных уравнений определим коэффициенты α и β , лежащие в основе работы алгоритма программы «Инвертаза»:

$$\begin{aligned}\omega_{\text{стар},LiH}(H) &= \frac{M(H)}{M(LiH)} = \frac{1 \text{ г/моль}}{8 \text{ г/моль}} = 0,125 \text{ (12,500\%)} \\ \omega_{\text{стар},NH_3}(H) &= \frac{3M(H)}{M(NH_3)} = \frac{3 \cdot 1 \text{ г/моль}}{17 \text{ г/моль}} = 0,17647 \text{ (17,647\%)} \\ \begin{cases} \omega_{\text{нов},LiH}(H) = \alpha + \beta \cdot \omega_{\text{стар},LiH}(H) \\ \omega_{\text{нов},NH_3}(H) = \alpha + \beta \cdot \omega_{\text{стар},NH_3}(H) \end{cases} \\ \begin{cases} 17,750 = \alpha + \beta \cdot 12,500 \\ 25,471 = \alpha + \beta \cdot 17,647 \end{cases} \\ \begin{cases} \alpha = -1 \\ \beta = 1,5 \end{cases}\end{aligned}$$

Таким образом, алгоритм, по которому работает программа «Инвертаза», описывается выражением:

$$x_{\text{нов}} = -1 + 1,5 \cdot x_{\text{стар}}$$

Для определения коэффициентов α и β можно также обратить внимание

на год, в котором известный химик получил **F**, и координационное число атома в **G**, а также числа, приведенные в первом абзаце задачи. Для пересчёта «новых» значений в «старые» необходимо воспользоваться формулой

$$x_{\text{стар}} = \frac{x_{\text{нов}} - \alpha}{\beta}$$

Масса не может быть отрицательной, значит $\alpha < 0.95$, при этом абсолютное значение α не может принимать значения сопоставимые с годом, в таком случае массовые доли будут превосходить 100%. Год после «Инвертазы» стал дробным, а к.ч. осталось целым. Основные открытия в химии происходили после 18 века, это позволяет предположить, что $\beta = 1.5$, т.к. $2862.5/1.5 \approx 1908$. При других значениях трудно попасть во временной интервал и получить 5 десятых в конце. Тогда для получения целого неотрицательного значения к.ч. $= 2 \frac{5-\alpha}{3} \alpha = -1$.

Пересчитаем все приведённые числа в условии задачи и подтвердим наши предположения расчётом:

	$x_{\text{нов}}$	$x_{\text{стар}}$
$m(\mathbf{A})$	0.950 г	1.300 г
$V(\mathbf{B})$	1.730 л	1.820 л
$K\mathbf{C}_{\text{Li}}(\mathbf{G})$	5	4
$m(\mathbf{J})$	122.582 г	82.388 г
$V(\mathbf{I})$	7.19 л	5.46 л

$$n(\text{LiH}) = \frac{m(\text{LiH})}{M(\text{LiH})} = \frac{1.300 \text{ г}}{8 \text{ г/моль}} = 0.1625 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2) = 0.5 \cdot n(\text{LiH}) = 0.08125 \text{ моль}$$

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_m = 0.08125 \text{ моль} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 1.82 \text{ л}$$

Объём выделяющегося водорода соответствует условию задачи, поэтому наши изначальные предположения были верны.

Элемент **X** образует 2 простых газообразных вещества, одно из них обладает «характерным запахом». Так как **J** можно получить нагреванием в атмосфере сухого воздуха, элемент **X** – кислород или азот. Однако для азота скольконибудь устойчивых простых веществ (с характерным запахом) не существует. Таким образом, **X** – кислород, **I** – O_2 , **H** – O_3 . Так как **J** бинарное, его состав может быть представлен в виде $\text{Э}_2\text{O}_m$, а реакция его разложения:

$$\Theta_2 O_m = \Theta_2 O_n + \frac{m-n}{2} O_2$$

$$v(O_2) = \frac{5.46}{22.4} = 0.24375 \text{ моль}$$

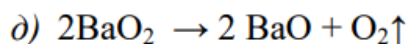
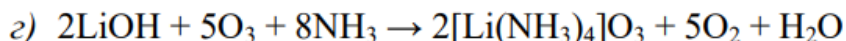
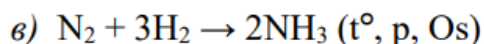
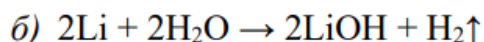
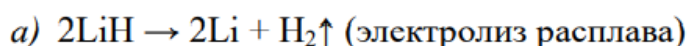
$$M(\Theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{m-n}{2} \frac{m(J)}{v(O_2)} - 16m \right) = \frac{m-n}{4} \frac{82.388}{0.24375} - 8m \approx 76.5m - 84.5n :$$

$\begin{matrix} m \\ n \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7
1	68.5	145	221.5	298	374.5	451
2		60.5	137 (Ba)	213.5	290	366.5
3			52.5	129	205.5	282
4				44.5	121	197.5
5					36.5	113
6						28.5

Таким образом, **J** – это BaO₂.

Взаимодействие гидроксида лития, озона и аммиака при -78°C позволяет получить озонид тетраамминлития **G** – [Li(NH₃)₄]O₃. Количество аммиачных лигандов в составе координационной сферы можно определить, исходя из координационного числа металла, приведённого в условии задачи.

Уравнения *реакций а – д*:



Система оценивания:

1.	Определение формул веществ A – F , подтверждённое расчётом после установления коэффициентов алгоритма «Инвертаза» по 1 баллу	6 баллов
2.	Расчёт коэффициентов α и β , лежащих в основе работы программы «Инвертаза» по 2 балла	4 балла
3.	Определение формулы вещества G - 2 балла Определение формул веществ H, I, J , подтверждённое расчётом по 1 баллу	5 баллов
4.	Написание уравнений <i>реакций а – д</i> по 1 баллу	5 баллов
		Итого 20 баллов

