

Вариант 1 (5-9 классы)

1. Соль железа образует несколько кристаллогидратов. В двух из них массовая доля воды равна 45.3% и 32.1%. С помощью расчётов установите формулы кристаллогидратов и напишите уравнение разложения любого из них при сильном нагревании. (10 баллов)

Решение. Пусть формулы кристаллогидратов – $X \cdot nH_2O$ и $X \cdot mH_2O$, где m и n – натуральные числа, X – безводная соль.

Найдем отношение массы воды к массе безводной соли в обоих кристаллогидратах:

$$\frac{18n}{M(X)} = \frac{\omega_1}{1 - \omega_1} = \frac{0.453}{1 - 0.453} = 0.828$$

$$\frac{18m}{M(X)} = \frac{\omega_2}{1 - \omega_2} = \frac{0.321}{1 - 0.321} = 0.473$$

и поделим первое отношение на второе:

$$\frac{n}{m} = \frac{0.828}{0.473} = 1.75 = \frac{7}{4}$$

Первый кристаллогидрат: $X \cdot 7H_2O$, второй – $X \cdot 4H_2O$.

$M(X) = 7 \cdot 18 / 0.828 = 152$ г/моль – это соответствует $FeSO_4$.

Ответ: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 4H_2O$.

2. Твёрдые алюминаты щелочных металлов могут иметь различный состав в зависимости от соотношения реагентов, взятых для их синтеза. При сплавлении 12.40 г оксида натрия со строго необходимым количеством оксида алюминия образовалось 16.48 г твёрдого вещества, растворимого в воде. Установите формулу продукта реакции, напишите уравнение реакции его образования и уравнение реакции, происходящей при растворении продукта реакции в воде. (15 баллов)

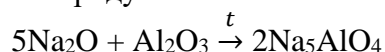
Решение. Количество вещества (и массы) реагентов:

$$\begin{aligned}v(Na_2O) &= 12.40 / 62 = 0.2 \text{ моль,} \\m(Al_2O_3) &= 16.48 - 12.40 = 4.08 \text{ г,} \\v(Al_2O_3) &= 4.08 / 102 = 0.04 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Соотношение реагентов

$$v(Na_2O) : v(Al_2O_3) = 0.2 : 0.04 = 5 : 1.$$

Уравнение реакции получения продукта:



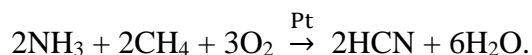
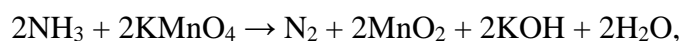
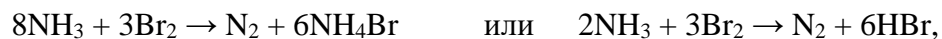
Формула продукта реакции – Na_5AlO_4 . Реакция, происходящая при растворении продукта в воде:



Ответ: Na_5AlO_4 .

3. Газ X , легче воздуха, является сильным восстановителем, обесцвечивает бромную воду, окисляется горячим водным раствором перманганата калия (реагирует в соотношении 1 : 1). Эквимольная смесь X с еще более легким газом Y при сильном нагревании на воздухе превращается в ядовитый газ Z , который тоже легче воздуха. Z используется в производстве некоторых полимеров. Установите формулы неизвестных веществ и запишите уравнения трех указанных реакций. (15 баллов)

Решение. Уравнения реакций:

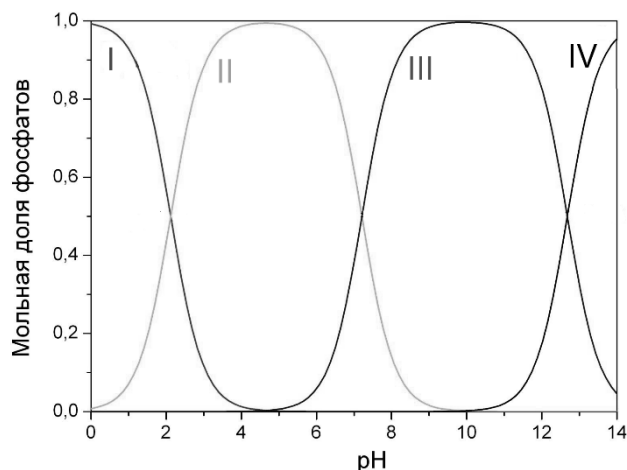


Ответ: X – NH_3 , Y – CH_4 , Z – HCN .

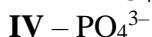
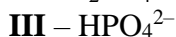
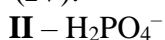
4. В растворах фосфорной кислоты и ее солей всегда присутствуют различные формы фосфатов: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- и H_3PO_4 . Какая именно форма преобладает, зависит от pH среды. На графике приведены зависимости мольных долей фосфатов от pH раствора.

Какому фосфату соответствует каждая цифра на графике? Объясните.

Напишите ионные уравнения реакций:



Решение. В самой кислой среде (pH 0 – 1) основная форма – наиболее протонированная, т. е. молекулярная, H_3PO_4 (I). По мере уменьшения кислотности (и роста pH) уменьшается и число атомов водорода в фосфате, в самой щелочной среде преобладает средний фосфат PO_4^{3-} (IV):



Ионные уравнения реакций:



5. Известно, что энергии связей S=O в оксидах серы различаются: в SO_2 энергия связи на 13% больше, чем в SO_3 . Справочные данные: теплоты образования оксидов серы: $Q_{\text{обр}}(\text{SO}_2(\text{г})) = 297 \text{ кДж/моль}$, $Q_{\text{обр}}(\text{SO}_3(\text{г})) = 396 \text{ кДж/моль}$; энергия связи в молекуле кислорода: $E(\text{O}=\text{O}) = 498 \text{ кДж/моль}$. Найдите энергию связи S=O в SO_2 и в SO_3 . (20 баллов)



$$Q = Q_{\text{обр}}(\text{SO}_3(\text{г})) - Q_{\text{обр}}(\text{SO}_2(\text{г})) = 396 - 297 = 99 \text{ кДж/моль.}$$

Пусть $E(\text{S}=\text{O} \text{ в } \text{SO}_3) = x \text{ кДж/моль}$, тогда $E(\text{S}=\text{O} \text{ в } \text{SO}_2) = 1.13x \text{ кДж/моль}$.

$$Q = \Sigma E(\text{обр}) - \Sigma E(\text{разр}) = 3x - 2 \cdot 1.13x - 1/2 \cdot 498 = 99 \text{ кДж/моль,}$$

$$x = 470.$$

$$E(\text{S}=\text{O} \text{ в } \text{SO}_3) = 470 \text{ кДж/моль,}$$

$$E(\text{S}=\text{O} \text{ в } \text{SO}_2) = 470 \cdot 1.13 = 531 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: 470 и 531 кДж/моль.

6. Использование транспортных реакций – один из способов получения особо чистых металлов. Технический образец переходного металла А, содержащий от 5 до 10% примесей, реагирует при нагревании с твёрдым, летучим неметаллом Б. Продукт реакции соединения, вещество Д, испаряется, транспортируется в другую часть установки и при еще более сильном нагревании разлагается с выделением чистого металла. В результате реакции 8.50 г технического А с избытком Б выделилось 45.058 кДж теплоты. Определите все неизвестные вещества и рассчитайте массовую долю примесей в А, если известно, что теплота образования газообразного Д из простых веществ равна 498.7 Дж/г.

(20 баллов)

Решение. Масса чистого металла и продукта:

$$m(\text{А}) - \text{в диапазоне от } 8.50 \cdot 0.9 = 7.65 \text{ г до } 8.50 \cdot 0.95 = 8.075 \text{ г,}$$

$$m(\text{Д}) = 45058 / 498.7 = 90.35 \text{ г.}$$

Твёрдый летучий неметалл – очевидно, иод I_2 . Пусть формула Д – AI_n ,

$$\nu(\text{Д}) = \nu(\text{А}) = m(\text{А}) / M(\text{А}),$$

$$\nu(\text{Д}) = 90.35 / (M(\text{А}) + 127n)$$

Решаем уравнение

$$\frac{m(\mathbf{A})}{M(\mathbf{A})} = \frac{90.35}{M(\mathbf{A}) + 127n}$$

при условии $7.65 \text{ г} < m(\mathbf{A}) < 8.075 \text{ г}$.

Получаем $11.75n < M(\mathbf{A}) < 12.46n$. Единственное разумное решение $n = 4$, $M(\mathbf{A}) = 48 \text{ г/моль}$, тогда $\mathbf{A} - \text{Ti}$, $\mathbf{D} - \text{TiI}_4$.

$$\nu(\text{Ti}) = \nu(\text{TiI}_4) = 90.35 / 556 = 0.1625 \text{ моль},$$

$$m(\text{Ti}) = 0.1625 \cdot 48 = 7.80 \text{ г}.$$

Массовая доля примесей:

$$\omega = (8.50 - 7.80) / 8.50 = 0.0823 = 8.23\%.$$

Ответ: $\mathbf{A} - \text{Ti}$, $\mathbf{B} - \text{I}_2$, $\mathbf{D} - \text{TiI}_4$; 8.23% примесей.

7. Гидриды переходных металлов рассматривают как потенциальные материалы для хранения водорода. Один из таких гидридов образован ванадием. Структура его элементарной ячейки показана на рисунке. Установите формулу вещества, ответ подтвердите расчётом. **(10 баллов)**

Решение. Очевидно, что крупные шары – атомы ванадия, мелкие – атомы водорода. Первые находятся во всех вершинах и в серединах всех граней куба, вторые – внутри ячейки. Число атомов в ячейке:

$$N(\text{V}) = 8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4,$$

$$N(\text{H}) = 8,$$

$$N(\text{V}) : N(\text{H}) = 1 : 2,$$

формула гидрида – VH_2 .

Ответ: VH_2 .

