

Задание заключительного тура олимпиады «Ломоносов» (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)

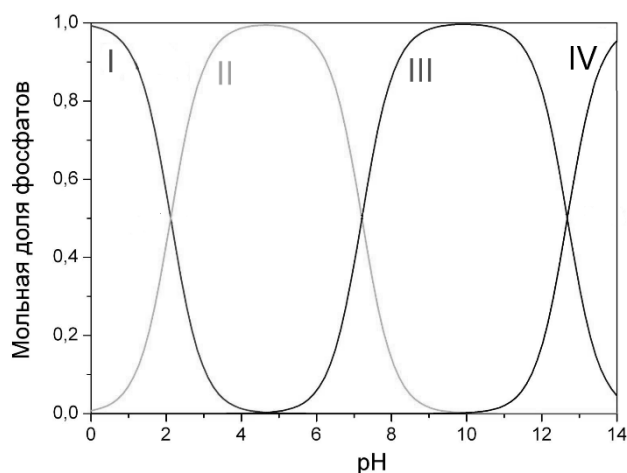
2. Твёрдые алюминаты щелочных металлов могут иметь различный состав в зависимости от соотношения реагентов, взятых для их синтеза. При сплавлении 12.40 г оксида натрия со строго необходимым количеством оксида алюминия образовалось 16.48 г твёрдого вещества, растворимого в воде. Установите формулу продукта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

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)

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.

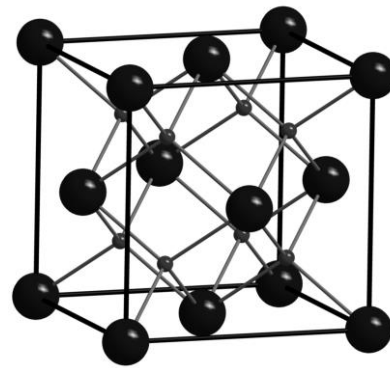
Напишите ионные уравнения реакций:



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)

6. Использование транспортных реакций — один из способов получения особо чистых металлов. Технический образец переходного металла **A**, содержащий от 5 до 10% примесей, реагирует при нагревании с твёрдым, летучим неметаллом **B**. Продукт реакции соединения, вещество **D**, испаряется, транспортируется в другую часть установки и при еще более сильном нагревании разлагается с выделением чистого металла. В результате реакции 8.50 г технического **A** с избытком **B** выделилось 45.058 кДж теплоты. Определите все неизвестные вещества и рассчитайте массовую долю примесей в **A**, если известно, что теплота образования газообразного **D** из простых веществ равна 498.7 Дж/г. (20 баллов)

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)



**Решения заданий заключительного тура олимпиады
«Ломоносов» (5-9 классы)**

1. (10 баллов) 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: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 4H_2O$.

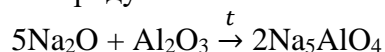
2. (15 баллов) Количества вещества (и массы) реагентов:

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

Соотношение реагентов

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

Уравнение реакции получения продукта:

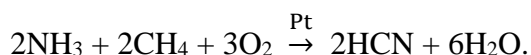
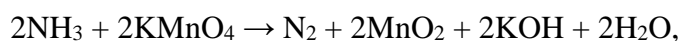


Формула продукта реакции – Na_5AlO_4 . Реакция, происходящая при растворении продукта в воде:



Ответ: Na_5AlO_4 .

3. (15 баллов) Уравнения реакций:

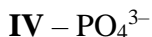


Ответ: $X - NH_3$, $Y - CH_4$, $Z - HCN$.

4. (10 баллов) 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):

II – $H_2PO_4^-$

III – HPO_4^{2-}



Ионные уравнения реакций:



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

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

$$x = 470.$$

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

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

Ответ: 470 и 531 кДж/моль.

6. (20 баллов) Масса чистого металла и продукта:

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

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

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

$$v(\text{Д}) = v(\text{A}) = m(\text{A}) / M(\text{A}),$$

$$v(\text{Д}) = 90.35 / (M(\text{A}) + 127n)$$

Решаем уравнение

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

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

Получаем $11.75n < M(\text{A}) < 12.46n$. Единственное разумное решение $n = 4$, $M(\text{A}) = 48 \text{ г/моль}$, тогда А – Ti, Д – TiI_4 .

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

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

Массовая доля примесей:

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

Ответ: А – Ti, Б – I_2 , Д – TiI_4 ; 8.23% примесей.

7. (10 баллов) 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 .