

LXXI Московская олимпиада школьников по химии
Заключительный этап теоретический тур 2015 год

9 класс

1. В газовой зажигалке находится 2,2 г жидкого пропана C_3H_8 . Сколько л воздуха (н.у.) требуется для полного сгорания всего пропана из зажигалки? Приведите уравнение реакции. Почему пропан в зажигалке жидкий при $+20^{\circ}C$, хотя температура его кипения $-42,1^{\circ}C$?

Решение



Молярная масса пропана 44 г/моль. Для 44 г пропана нужно $22,4 \cdot 5 = 112$ л кислорода.

Составляем и решаем пропорцию: $44/2,2 = 112/X$; $X = 5,6$ (л кислорода) (3 балла)

Воздуха понадобится в 5 раз больше (кислород в воздухе составляет 21% по объему).

Приблизительный ответ $5,6 \cdot 5 = 28$ л. (3 балла)

Более точный ответ $5,6/0,21 = 26,7$ л

2) Пропан в зажигалке жидкий, потому что этот газ легко сжижается при повышении давления. (3 балла)

При $20^{\circ}C$ давление паров жидкого пропана около 8 атмосфер. Пропан под давлением остается жидким до температуры $96^{\circ}C$ (критическая температура). В зажигалке обычно содержится смесь пропана и бутана, давление этой смеси меньше – около 5 атм.

Итого 12 баллов

2. Из приведенного списка выберите вещества, способные реагировать с водой.

Вещества: 1) CO_2 , 2) $Ca(OH)_2$, 3) BaO , 4) Al , 5) Fe , 6) C (графит).

Напишите уравнения возможных реакций, укажите условия их проведения.

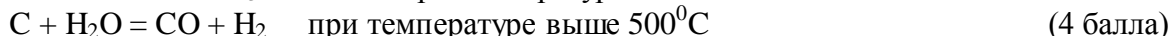
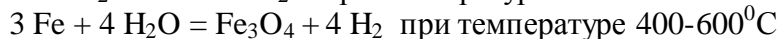
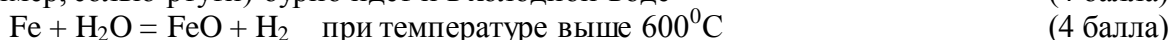
Решение



$Ca(OH)_2$ не реагирует (1 балл)



$2 Al + 6 H_2O = 2 Al(OH)_3 + 3 H_2$ реакция при удалении оксидной пленки на алюминии (например, солью ртути) бурно идет и в холодной воде (4 балла)



Итого 18 баллов

3. Сплав лития и натрия массой 1,85 г растворили в 100 мл воды; при этом выделилось 1680 мл газа (н.у.). В полученный раствор пропустили избыток углекислого газа.

Сколько г соли натрия образовалось в итоге? Напишите уравнения реакций.

Решение



14 г лития дают 22400 мл водорода, также 46 г натрия дают 22400 мл водорода.

Составим систему 2 уравнений с 2-мя неизвестными для X моль лития и Y моль натрия в смеси:

$$7 X + 23 Y = 1,85$$

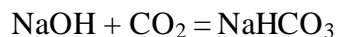
$$11200 X + 11200 Y = 1680$$

Решая систему, получим $X = 0,1$ моль, $Y = 0,05$ моль.

(6 баллов)

Следовательно, масса лития в исходной смеси 0,7 г, натрия – 1,15 г.

В избытке углекислого газа получится кислая соль:



(3 балла)

Получится соответственно 0,05 моль гидрокарбоната натрия или $84 \cdot 0,05 = 4,2$ г соли (2 балла)

Ответ для неправильной средней соли: 0,025 моль карбоната или $106 \cdot 0,025 = 2,65$ г

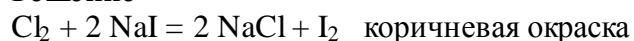
Для средней соли вместо 5 баллов ставить 2 балла.

Итого 15 баллов

4. При пропускании потока газообразного хлора в 10%-ный раствор иодида натрия раствор сначала становится коричневым, затем обесцвечивается. При упаривании бесцветного раствора выделяются бесцветные кристаллы индивидуального вещества, содержащего 64,13 % иода по массе.

Напишите уравнения возможных реакций.

Решение



(3 балла)



(5 баллов)

В бесцветном растворе могут содержаться ионы H^+ , Na^+ , Cl^- , IO^- , IO_3^- . В избытке хлора наиболее вероятно окисление иода до иодата IO_3^- .

64,13% иода содержится в соли NaIO_3

(5 баллов)

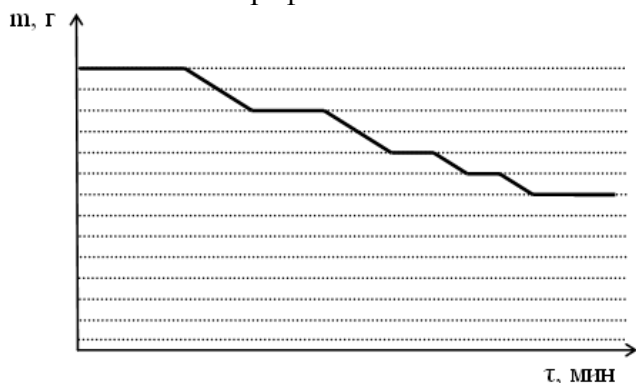
При упаривании раствора летучий хлороводород улетучивается, в растворе остается иодат натрия.

(2 балла)

Суммарное уравнение процесса $6 \text{Cl}_2 + 2 \text{NaI} + 6 \text{H}_2\text{O} = 12 \text{HCl} + 2 \text{NaIO}_3$

Итого 15 баллов

5. Образец кристалла состава $\text{ЭCl}_x \cdot y\text{H}_2\text{O}$ нагревали до постоянной массы (скорость нагрева не менялась). Молярные массы исходного и конечного веществ равны 238 и 130 г/моль, соответственно. График зависимости массы образца от времени приведен на рисунке:



Определите состав вещества. Объясните ход графика. Укажите, какие процессы происходят при нагревании образца. Схематично постройте график зависимости изменения температуры образца от времени.

Решение

1) Скорее всего, рассматриваемое вещество — кристаллогидрат соли какого-то металла.

Соответственно, конечное вещество — безводная соль. Пусть количество вещества взятого образца равно 1 моль, тогда масса и количество вещества кристаллизационной воды равны:

$$m^{\text{крист.}}(\text{H}_2\text{O}) = 238 \text{ г} - 130 \text{ г} = 108 \text{ г.}$$

$$n^{\text{крист.}}(\text{H}_2\text{O}) = 108 \text{ г} : 18 \text{ г/моль} = 6 \text{ моль}$$

Т.е. формулу вещества можно записать как $\text{ЭCl}_x \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

(4 балла)

Масса безводной соли будет равна:

$$m(\text{ЭCl}_x) = 130 \text{ г}$$

Так как количество вещества соли равно 1 моль, то молярная масса соли составляет 130 г/моль. Рассмотрим различные случаи, когда металл может проявлять разные валентности:

Валентность металла	Формула безводной соли	Молярная масса металла	Металл
1	ЭСl	$130 - 35,5 = 94,5$	Элемента с такой молярной массой не существует.
2	ЭС ₂	$130 - 71 = 59$	Подходит Со, проявляющий в соединениях валентность, равную двум.
3	ЭС ₃	$130 - 106,5 = 23,5$	Нет трехвалентного элемента с такой молярной массой.

Таким образом, начальное вещество – гексагидрат хлорида кобальта (II) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, конечное – безводный хлорид кобальта CoCl_2 . (4 балла)

2) Ход графика:

Горизонтальные участки графика соответствуют нагреванию образца (масса не меняется, т.к. не происходит отщепления воды), наклонные графики соответствуют процессам дегидратации (масса уменьшается, так как происходит отщепление кристаллизационной воды).

Четыре наклонных участка соответствуют четырем стадиям отщепления воды. Длина проекции наклонного участка на ось ординат прямо пропорционально количеству отщепляющейся воды.

Из графика видно, что первый и второй наклонные участки, а так же третий и четвертый (попарно) соответствуют отщеплению одинаковых количеств воды. При этом из графика видно, что третий и четвертый участок в два раза меньше первого и второго (отщепляется в два раза меньшая масса воды), следовательно, первый и второй участок соответствуют отщеплению двух молекул воды, третий и четвертый – одной молекулы воды. (4 балла)

Уравнения реакций: $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$

$\text{CoCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$

$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

$\text{CoCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

(4 балла)

Последний горизонтальный участок соответствует нагреванию безводного хлорида кобальта (II).

Длина горизонтальных участков соответствует времени нагрева (а, следовательно, и количеству сообщенной образцу теплоты). Уменьшение длины горизонтальных участков (кроме последнего) может быть обусловлено двумя причинами: (2 балла)

а) уменьшением массы образца за счет дегидратации: до температуры разложения быстрее нагреется образец меньшей массы.

б) уменьшением теплоёмкости образца также за счет дегидратации (вода – вещество с максимальной теплоёмкостью): до температуры разложения быстрее нагреется образец с меньшей теплоёмкостью.

Последний горизонтальный участок соответствует началу процесса нагрева безводного хлорида кобальта (II) до температуры плавления, которая много больше, чем температуры процессов дегидратации, поэтому длина последнего горизонтального участка больше длин предыдущих.

Из графика видно, что угол наклона всех наклонных участков одинаков, следовательно, так как подводимая на наклонном участке теплота тратится только на разрыв связей кристаллизационной воды с кристаллической решеткой, энергия связей всех молекул воды с кристаллической решеткой одинакова.

3) Схематичный график зависимости температуры образца от времени представлен на рисунке. Наклонные участки соответствуют процессам нагрева образца до температуры разложения, горизонтальные участки – процессам дегидратации (каждая из приведенных выше реакций идет при определенной температуре). При проверке работ обращали внимание на то, одинаковы ли длины первого и второго горизонтальных участков и третьего и четвертого (попарно). Также из построенного графика должно быть видно, что время нагрева на первом и втором наклонных участках в два раза больше, чем на третьем и четвертом, так как отщепляется в два раза больше воды, т.е. нужно затратить в два раза больше теплоты.

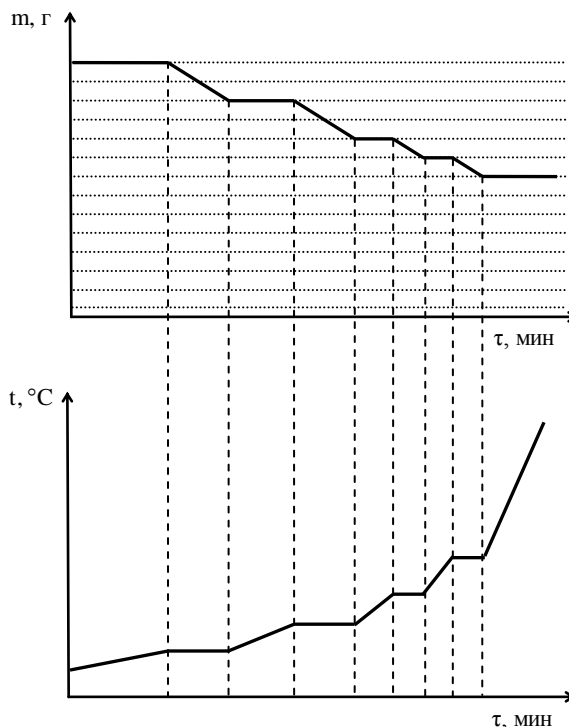
Из графика должно быть видно, что увеличивается угол наклона наклонных участков. Он увеличивается по мере нагревания по двум причинам:

а) уменьшается масса нагреваемого вещества за счет испарения воды (если сообщить одно количество теплоты двум образцам, то больше изменится температура у образца с меньшей массой).

б) так как вода обладает самой большой теплоёмкостью (примерно 4200 Дж/(кг·°C)), то с уменьшение количества кристаллизационной воды в образце, теплоемкость образца будет уменьшаться (если сообщить одно количество теплоты двум образцам, то больше изменится температура у образца с меньшей теплоемкостью)

Последний наклонный участок соответствует нагреванию безводного хлорида кобальта (II).

График (4 балла), углы наклона (2 балла)



Итого 24 балла

6. Вещество **A** сгорело в кислороде при повышенном давлении. При этом получился единственный продукт **B**. **B** разлагается при температуре выше 1100°C на твердый остаток **C** и смесь газов. **C** реагирует с гипохлоритом натрия в присутствии NaOH с образованием бинарного соединения **D**, содержащего 13,38% кислорода. Высушенный осадок **D** представляет собой кристаллическое вещество темно-коричневого цвета. Установлено, что масса 0,125 моль **D** практически равна массе такого же количества **A**.

Напишите формулы веществ **A-D**, ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнения реакций, описанных в условии задачи.

Решение:

1. Следует начать с определения вещества **D** по данным о массовой доле кислорода. Из условия задачи можно предположить, что **D** является неким оксидом $\text{Э}_x\text{O}_y$. Если в оксиде один атом кислорода, то:

$$M_{(\text{ЭхO})} = M_{(\text{O})} : \omega_{(\text{O})} = 16 : 0,13378 \approx 119,6 \text{ г/моль};$$

$M_{(\text{Э})} = 103,6 \text{ г/моль}$ (при $x=1$), нет элемента с такой молярной массой;

$$M_{(\text{Э})} = 51,8 \text{ г/моль}$$
 (при $x=2$), хром не образует оксида Cr_2O ;

Если в оксиде 2 атома кислорода, то:

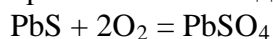
$$M_{(\text{ЭхO}_2)} = 2M_{(\text{O})} : \omega_{(\text{O})} = 32 : 0,13378 \approx 239,2 \text{ г/моль};$$

$M_{(\text{Э})} = 207,2 \text{ г/моль}$ (при $x = 1$), такая молярная масса соответствует свинцу, точность полученного значения позволяет не продолжать перебор.

Следовательно, **D**- PbO_2 .

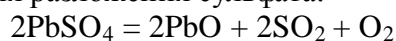
(4 балла)

Если 0,125 моль **D** обладают такой же массой, что и 0,125 моль **A**, то **D** и **A** имеют одинаковые молярные массы. Двум атомам кислорода из **D** соответствует один атом серы в **A**, то есть **A** - PbS . PbS при повышенном давлении сгорает по следующей реакции:



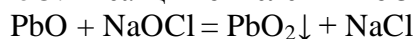
(4 балла)

B - PbSO_4 . Реакция разложения сульфата:



(4 балла)

Следовательно, **C**- PbO . Реакция окисления PbO в среде NaOH:



(4 балла)

Итого 16 баллов

Всего 100 баллов