

ЗАДАНИЕ 2

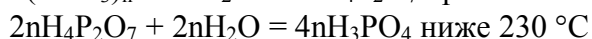
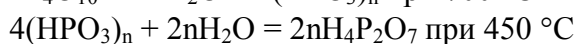
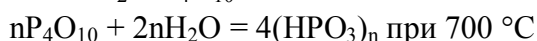
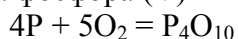
Примеры решения задач

Пример 1.

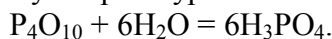
Укажите, какие химические процессы лежат в основе получения фосфорной кислоты. Напишите уравнения реакций получения H_3PO_4 .

Решение:

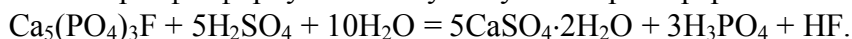
Термический способ получения фосфорной кислоты основан на окислении элементарного фосфора в избытке воздуха с последующей гидратацией образующегося оксида фосфора (V) и конденсацией фосфорной кислоты:



Суммарное уравнение:



Также ортофосфорную кислоту получают при переработке апатитов:



Пример 2.

К 24 %-ному раствору нитрата аммония (плотность 1,1 г/мл) объемом 45,45 мл прибавили 80 г 10 %-ного раствора гидроксида натрия. Полученный раствор быстро прокипятили (потерями паров воды пренебречь). Определите, какие вещества остались после этого в растворе, и рассчитайте их содержание (в процентах по массе).

Дано:

$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 24\%$$

$$\rho = 1,1 \text{ г/мл}$$

$$V = 45,45 \text{ мл}$$

$$m(\text{р-ра}) = 80 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 10\%$$

$$M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaNO}_3) = 85 \text{ г/моль}$$

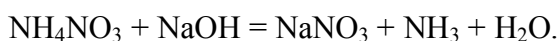
$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$$

Найти:

$$\omega(\text{полученных веществ})$$

Решение:

Запишем уравнение реакции взаимодействия между растворами нитрата аммония и гидроксида натрия:



Вычислим количество вступивших в реакцию веществ. Масса раствора нитрата аммония равна:

$$m(\text{p-ра}) = V \cdot \rho = 45,45 \cdot 1,1 = 50 \text{ (г)}.$$

Масса нитрата аммония равна:

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{m(\text{p-ра}) \cdot \omega}{100} = \frac{50 \cdot 24}{100} = 12 \text{ (г)}.$$

Количество вещества нитрата аммония составляет:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{12}{80} = 0,15 \text{ (моль)}.$$

Масса гидроксида натрия равна:

$$m(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{p-ра}) \cdot \omega}{100} = \frac{80 \cdot 10}{100} = 8 \text{ (г)}.$$

Количество вещества гидроксида натрия составляет:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{8}{40} = 0,20 \text{ (моль)}.$$

По уравнению реакции взаимодействия на 1 моль нитрата аммония приходится 1 моль гидроксида натрия. В исходной смеси содержится 0,15 моль нитрата аммония и 0,20 моль гидроксида натрия, следовательно, гидроксид натрия взят в избытке. Избыток составляет $0,20 - 0,15 = 0,05$ моль или 2 г ($m(\text{NaOH}) = n \cdot M = 0,05 \cdot 40 = 2,00$ г).

Вычислим количество образовавшегося нитрата натрия. По уравнению реакции 1 моль нитрата аммония соответствует 1 молю нитрата натрия. В реакцию вступило 0,15 моль нитрата аммония, следовательно, образовалось 0,15 моль нитрата натрия или 12,75 г ($m(\text{NaNO}_3) = n \cdot M = 0,15 \cdot 85 = 12,75$ г). В растворе после завершения реакции содержится 2 г гидроксида натрия и 12,75 г нитрата натрия (аммиак – газообразное вещество).

Для расчета массовой доли веществ определим массу раствора. Масса раствора после завершения реакции включает массы: воды, поступившей с раствором нитрата аммония ($m_1(\text{H}_2\text{O})$); воды, содержащейся в растворе гидроксида натрия ($m_2(\text{H}_2\text{O})$); воды, образовавшейся по реакции ($m_3(\text{H}_2\text{O})$); оставшегося гидроксида натрия ($m(\text{NaOH})$); образовавшегося нитрата натрия ($m(\text{NaNO}_3)$).

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 50 - 12 = 38 \text{ (г)}.$$

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{NaOH}) = 80 - 8 = 72 \text{ (г)}.$$

$$m_3(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 0,15 \cdot 18 = 2,70 \text{ (г)}.$$

$$m(\text{p-ра}) = m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{H}_2\text{O}) + m_3(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaOH}) + m(\text{NaNO}_3) = 38 + 72 + 2,70 + 2 + 12,75 = 127,45 \text{ (г)}.$$

Вычислим массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{p-ра})} \cdot 100 = \frac{2}{127,45} \cdot 100 = 1,57 \text{ \%};$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m(\text{p-ра})} \cdot 100 = \frac{12,75}{127,45} \cdot 100 = 10,00 \text{ \%}.$$

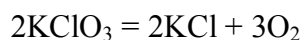
$$\text{Ответ: } \omega(\text{NaOH}) = 1,57 \text{ \%}; \omega(\text{NaNO}_3) = 10,00 \text{ \%}.$$

Пример 3.

Назовите вещества, состоящие из трех и более элементов, каждое из которых разлагается с выделением кислорода, причем масса выделившегося кислорода составляет не менее 10 % массы разложившихся веществ.

Решение:

1) KClO_3 – хлорат калия.



$$\alpha(\text{O}_2) = \frac{3 \cdot m(\text{O}_2)}{2 \cdot m(\text{KClO}_3)} = \frac{3 \cdot 32}{2 \cdot 122,5} = 39 (\%).$$

2) KMnO_4 – перманганат калия.



$$\alpha(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{2 \cdot m(\text{KMnO}_4)} = \frac{32}{2 \cdot 158} = 10 (\%).$$

3) KNO_3 – нитрат калия.

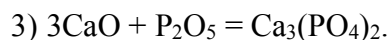
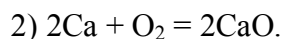
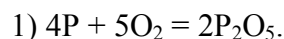


$$\alpha(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{2 \cdot m(\text{KNO}_3)} = \frac{32}{2 \cdot 101} = 15,6 (\%).$$

Пример 4.

Напишите уравнения реакций, при помощи которых, используя простые вещества – кальций, фосфор и кислород, можно получить фосфат кальция.

Решение:

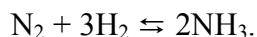


Пример 5.

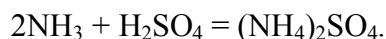
Если через смесь азота с водородом пропустить искровой разряд, то образуется лишь немного аммиака. Но если при этом газовая смесь находится над серной кислотой, то синтез идет до конца. Укажите, что является причиной такого изменения в ходе процесса.

Решение:

Уравнение реакции взаимодействия водорода и азота:



Если газовая смесь находится над серной кислотой, то образующийся аммиак взаимодействует с серной кислотой с образованием сульфата аммония:



Аммиак покидает сферу реакции и согласно принципу Ле Шателье равновесие смещается в сторону продуктов реакции.

Пример 6.

При окислении фосфора 60 %-ным раствором азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл) получены оксид азота (II) и ортофосфорная кислота, на нейтрализацию которой потребовалось 25 мл 25 %-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,28 г/мл), причем

образовался дигидрофосфат натрия. Рассчитайте объем азотной кислоты, взятой для окисления фосфора, и объем выделившегося газа (при н. у.).

Дано:

$$\omega(\text{HNO}_3) = 60 \%$$

$$\rho(\text{р-ра HNO}_3) = 1,37 \text{ г/мл}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 25 \%$$

$$\rho(\text{р-ра NaOH}) = 1,28 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{р-ра NaOH}) = 25 \text{ мл}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль}$$

Найти:

$$V(\text{р-ра HNO}_3)$$

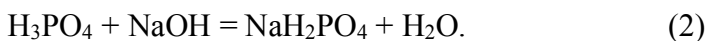
$$V(\text{газа})$$

Решение:

Запишем уравнение реакции взаимодействия фосфора с азотной кислотой, при этом учтем, что по условию задачи образуется ортофосфорная кислота и оксид азота (II):



Запишем уравнение реакции нейтрализации фосфорной кислоты гидроксидом натрия с образованием дигидрофосфата натрия:



Для определения объема азотной кислоты, взятой для окисления фосфора, и объема выделившегося газа необходимо знать количество образовавшейся ортофосфорной кислоты. Определить это количество можно, зная количество вещества (в моль) гидроксида натрия, необходимого для реакции (2). По условию задачи даны объем раствора гидроксида натрия, пошедшего на реакцию, его плотность и массовая доля NaOH в растворе. Найдем количество вещества NaOH, исходя из этих данных.

Масса раствора связана с его объемом и плотностью соотношением:

$$m(\text{р-ра}) = V \cdot \rho.$$

$$m(\text{р-ра}) = 25 \cdot 1,28 = 32 \text{ (г)}.$$

Массу вещества найдем из определения массовой доли растворенного вещества:

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%, \text{ тогда}$$

$$m(\text{NaOH}) = \frac{\omega \cdot m(\text{р-ра})}{100} = \frac{25 \cdot 32}{100} = 8 \text{ (г)};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M} = \frac{8}{40} = 0,2 \text{ (моль)}.$$

Количество вещества NaOH равно 0,2 моль, тогда по уравнению реакции (2) количество ортофосфорной кислоты также равно 0,2 моль (по уравнению реакции соотношение $n(\text{H}_3\text{PO}_4) : n(\text{NaOH}) = 1 : 1$).

Для расчета объема азотной кислоты необходимо знать её количество. По уравнению реакции (1) для образования 3 моль ортофосфорной кислоты необходимо 5 моль азотной кислоты, то есть соотношение $n(\text{H}_3\text{PO}_4) : n(\text{HNO}_3) = 3 : 5$. По условию задачи образовалось 0,2 моль ортофосфорной кислоты, следовательно, азотной кислоты прореагировало $1/3$ моль ($n(\text{HNO}_3) = 3/5 \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4)$).

Определим массу азотной кислоты:

$$m(\text{в-ва}) = n \cdot M = 1/3 \cdot 63 = 21 \text{ (г)}.$$

Вычислим массу раствора азотной кислоты, зная массовую долю HNO_3 в растворе:

$$m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{HNO}_3) \cdot 100}{\omega} = \frac{21 \cdot 100}{60} = 35 \text{ (г)}.$$

Определим объем раствора 60 %-ной азотной кислоты необходимый для взаимодействия:

$$V = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{35}{1,37} = 25,5 \text{ (мл)}.$$

Найдем объем выделившегося газа – оксида азота (II). По уравнению реакции (1) при образовании 3 моль ортофосфорной кислоты выделяется 5 моль оксида азота (II), то есть соотношение $n(\text{H}_3\text{PO}_4) : n(\text{NO}) = 3 : 5$. По условию задачи образовалось 0,2 моль ортофосфорной кислоты, значит, оксида азота (II) образовалось $1/3$ моль ($n(\text{NO}) = 3/5 \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4)$). Тогда:

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{V}{22,4}.$$

Зная количество вещества оксида азота (II), равное $1/3$ моль, найдем его объем при нормальных условиях:

$$V = n \cdot 22,4 = 7,47 \text{ (л)}.$$

Ответ: $V(\text{р-ра HNO}_3) = 25,5 \text{ мл}$; $V(\text{NO}) = 7,47 \text{ л}$.

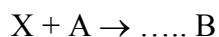
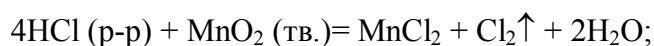
Пример 7.

Концентрированный водный раствор вещества X реагирует с двумя разными твердыми веществами А и Б и образует при этом два газообразных вещества В и Г, которые при взаимодействии между собой образуют исходное вещество X. Определите, что могут представлять собой названные вещества. Напишите уравнения соответствующих реакций.

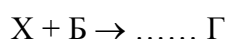
Решение:

Взаимодействие газов В и Г может быть окислительно-восстановительным процессом или реакцией, протекающей без изменения степеней окисления.

В первом случае твердые вещества А и Б должны быть окислителем и восстановителем, тогда Х должно быть образовано элементами, входящими в состав газов, которые получаются при окислении и восстановлении Х. Веществом Х может быть хлороводород. Концентрированный водный раствор Х – соляная кислота – проявляет восстановительные свойства за счет аниона хлора и окислительные за счет катиона водорода, вещество А – окислитель, например, оксид марганца, Б – восстановитель, например, цинк.

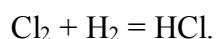


В – газ хлор.

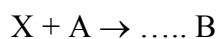
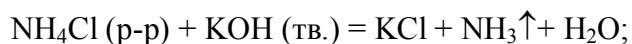


Г – газ водород.

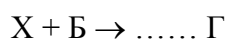
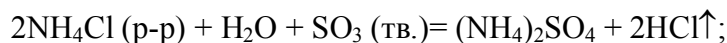
В (Cl₂) и Г (H₂) реагируют с образованием Х (HCl):



Если процесс протекает без изменения степеней окислений, то возможно несколько вариантов решения, например:



В – аммиак.



Г – газ хлороводород.

В (NH₃) и Г (HCl) реагируют с образованием Х (NH₄Cl):

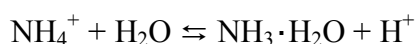
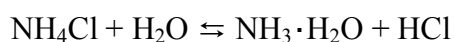


Пример 8.

При кипячении водный раствор, содержащий соль NH₄Cl, становится более кислым. Объясните наблюдаемое явление, напишите уравнения реакции.

Решение:

Хлорид аммония в водном растворе гидролизует по катиону:



В растворе среда кислая. Гидролиз – процесс, протекающий с поглощением тепла, поэтому, согласно принципу Ле Шателье, при нагревании равновесие смещается в сторону уменьшения температуры, то есть продуктов гидролиза, количество ионов водорода возрастает и среда становится более кислой.

Пример 9.

Имеется 2 л смеси оксида серы (IV) и кислорода. В результате реакции между ними образовалось 0,17 г оксида серы (VI). Определите объемный состав исходной смеси, учитывая, что оксид серы (IV) вступил в реакцию полностью. Укажите условия, необходимые для протекания реакции.

Дано:

$$V(\text{смеси}) = 2 \text{ л}$$

$$m(\text{SO}_3) = 0,17 \text{ г}$$

$$M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}$$

Найти:

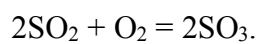
$$\varphi(\text{SO}_2)$$

$$\varphi(\text{SO}_3)$$

Решение:

Для определения объемной доли оксида серы (IV) и кислорода в исходной смеси вычислим количество оксида серы (IV), вступившее в реакцию окисления.

Запишем уравнение реакции:



По уравнению реакции соотношение $n(\text{SO}_2) : n(\text{SO}_3)$ равно 1 : 1. Определим количество образовавшегося оксида серы (VI):

$$n = \frac{m}{M} = \frac{0,17}{80} = 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}.$$

Тогда количество вещества оксида серы (IV) равно $2,13 \cdot 10^{-3}$ моль.

Объемная доля по определению равно:

$$\varphi = \frac{V(\text{в-ва})}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Объем смеси по условию равен 2 л. Вычислим объемы газов в смеси:

$$V(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot V_m = 2,13 \cdot 10^{-3} \cdot 22,4 = 0,048 \text{ (л)}.$$

$$V(\text{O}_2) = V(\text{смеси}) - V(\text{SO}_2) = 2 - 0,048 = 1,952 \text{ (л)}.$$

Тогда:

$$\varphi = \frac{V(\text{SO}_2)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 = \frac{0,048}{2} \cdot 100 = 2,4 \text{ (\%)};$$

$$\varphi = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 = \frac{1,952}{2} \cdot 100 = 97,6 \text{ (\%)}.$$

Реакция окисления оксида серы (IV) кислородом воздуха до оксида серы (VI) протекает при повышенной температуре (600–800 °С) в присутствии катализатора Fe_2O_3 .

Ответ: $\varphi(\text{SO}_2) = 2,4 \%$; $\varphi(\text{O}_2) = 97,6 \%$.