

LXXVIII Московская олимпиада школьников по химии

Заключительный этап

теоретический тур

20.02.2022 г.

8 класс

Для решения предлагается выбрать 5 задач из 6.

Ответы во всех задачах необходимо подтверждать расчетами и рассуждениями.

Задача 1.

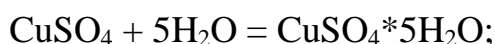
Изменение цвета - важнейший признак химической реакции, широко используемый для обнаружения того или иного химического вещества. Предложите по одному примеру химического взаимодействия на каждый случай, описанный ниже. Приведите формулу или название веществ А-Е, укажите цвет каждого вещества или раствора. Для примеров 4 и 5 напишите уравнения реакций.

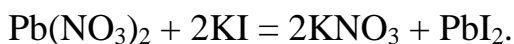
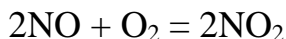
1. Бесцветные кристаллы вещества А растворили в чистой воде. В результате образовался окрашенный раствор.
2. Бесцветные кристаллы вещества В внесли в бесцветный раствор вещества С. В результате образовался окрашенный раствор.
3. Бесцветные кристаллы вещества D внесли в окрашенный раствор вещества Е. В результате окраска конечного раствора поменялась.
4. Смешали два бесцветных раствора - вещества F и вещества G. В результате образовался желтый осадок.
5. Смешали два бесцветных газа - H и I. В результате образовался окрашенный газ.

Примечание: в вопросах 1-3 нет других видимых признаков протекания реакции, таких как выпадение осадка или выделение газа. Одно и то же вещество в разных примерах может быть зашифровано разными буквами.

РЕШЕНИЕ

Понятно, что правильных ответов много, это творческая и «утешительная» задача. Один из вариантов: А - безводный CuSO_4 , В - NaOH , С - фенолфталеин, D - NaOH , Е - лакмус, F - $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, G - KI , H - NO_2 , I - O_2





Каждое вещество или название - по 1 баллу (всего - 9 баллов). Каждая реакция - по 3 балла (не уравненная - 1 балл, максимум 9 баллов), по 0.5 балла за каждый цвет (всего 5 неизвестных окрашенных веществ и растворов, за любые 4 сумма 2 балла)

Задача 2.

В научно-фантастическом романе Александра Беляева “Продавец воздуха” описано изобретение, позволяющее хранить большие объемы воздуха в концентрированном виде при низких температурах:

“Бэйли открыл дверцы одного из шкафов и, выдвинув при помощи механизма ящик, показал содержимое: там лежали блестящие шарики величиною с грецкий орех.<..> Я протянул руку, чтобы взять один из них, но не смог этого сделать.

– Они все сплавлены вместе, – ответил я. Бэйли рассмеялся.

– Сколько весит один кубический метр обыкновенного комнатного воздуха? – спросил он меня.

– Около килограмма.

– Килограмм с четвертью. А в этом шарике заключен один кубический километр воздуха. Не всякая лошадь сvezет воз, нагруженный одним таким шариком.”

1. Могут ли эти шарики храниться при комнатной температуре? Что с ними произойдет? Какие условия являются подходящими для хранения таких шариков?
2. Что произойдет, если такой шарик бросить в глубокое озеро?
3. Верно ли собеседники оценивают массу кубометра газообразного воздуха? Ответ обоснуйте при помощи расчетов, сделанных при нормальных условиях.
4. На основании приведенных в тексте данных рассчитайте массу и среднюю плотность шариков, если предположить, что их средний объем - 25 мл.
5. Если предположить, что все величины, описанные в тексте, верны, какие действия не могли бы произойти в реальности?

РЕШЕНИЕ

1. Конечно, раз компоненты воздуха газообразны при комнатной температуре, шарики не смогут быть настолько плотными и превратятся в газ. **(2 балла)** Храниться они могут только при очень низких температурах. **(2 балла)**

2. Озеро содержит жидкую воду с температурой выше 0 градусов Цельсия, это более чем на 100 градусов выше, чем закипают основные компоненты воздуха (кислород и азот), а при такой плотности шарик, очевидно, будет быстро тонуть. Это означает, что шарик будет соприкасаться с очень горячей для него средой и быстро испаряться, а поскольку вода - вязкая среда, большому количеству появившихся газообразных продуктов будет некуда деваться и произойдет взрыв. Подобные взрывы, кстати, описаны в других фрагментах цитируемой книги. **(2 балла за указание на взрыв, 2 балла за объяснение, почему это случится)**

3. Средняя молярная масса воздуха - 29 г/моль, при этом в одном кубометре воздуха при н.у. содержится $1000/22.4 = 44.64$ моль газа. Тогда $m(1 \text{ м}^3) = 44.64 \cdot 29 = 1294$ г, это чуть больше, чем «килограмм с четвертью», но в целом оценка произведена достаточно точно. **(верная оценка - 2 балла, расчет 2 балла)**

4. $1 \text{ км}^3 = 10^9 \text{ м}^3$, если взять, что 1 м^3 весит 1,25 кг, то один шарик имеет массу $1,25 \cdot 10^9$ кг или 1,25 млн тонн, а его плотность - $d = 1,25 \cdot 10^9 / 0.025 = 50$ млн тонн/л. Таким образом количество газа, заключенное в одном шарике, сопоставимо с годовым объемом добычи природного газа в России, а плотность шарика на много порядков превышает плотность металлов. **(масса в правильных единицах - 2 балла, плотность - 2 балла)**

5. Очевидно, при такой массе одного шарика никакая лошадь не смогла бы сдвинуть его с места, кроме того, было бы затруднительно выдвинуть ящик с шариками из шкафа с помощью какого-либо механизма, поскольку даже самые мощные краны не способны перемещать грузы такой массы. **(каждый факт - 2 балла)**

Задача 3.

В начале XX века многие фонари были газовыми. В качестве горючего газа применялось бинарное соединение А, молекула которого состоит из четырех атомов. Этот газ выделяется при постепенном добавлении воды к твердому бинарному соединению Б. Для начала свечения газ нужно поджечь. Известно, что полное сгорание газа А, выделившегося при обработке водой 6,4 г

вещества **Б**, приводит к образованию только двух продуктов: 4,48 л (н. у.) углекислого газа и 1,8 г воды.

1. Определите формулы веществ **А** и **Б**, напишите уравнения упомянутых в задании реакций. Ответ подтвердите расчетами.
2. Длительное использование такого фонаря в замкнутом пространстве опасно для жизни. Почему?
3. После окончания работы содержимое внутренней емкости фонаря перелили в химический стакан и добавили каплю раствора фенолфталеина. Как будет окрашено содержимое стакана после добавления индикатора и почему?
4. В настоящее время фонарь такой конструкции до сих пор используют спелеологи при исследовании пещер. Назовите два преимущества фонаря такой конструкции перед обычным, работающим от батареек.

РЕШЕНИЕ

1. Так как при горении бинарного газа образовались только вода и углекислый газ, вещество **А** - углеводород, а так как он состоит из 4 атомов, это может быть только ацетилен (C_2H_2 - единственный вариант, который дает перебор возможных формул). (2 балла)

Найдем количества продуктов горения. $n(CO_2) = 4.48/22.4 = 0.2$ моль, $n(H_2O) = 1.8/18 = 0.1$ моль. (по 1 баллу) Уравнение горения ацетилена - $2C_2H_2 + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O$ (2 балла), таким образом количество ацетилена - также 0.1 моль. (1 балл)

Вещество **Б** состоит из углерода и еще какого-то элемента, причем количество атомов в углерода в нем 0.1 моль. Предположим, что вещество **Б** имеет общую формулу A_xB_y .

При $y = 1$ $n(A_xB_y) = 0.2$ моль, $M(A_xB_y) = 6.4/0.2 = 32$ г/моль, $M(A_x) = 20$ - только при $x=1$ неон (не подходит)

При $y = 2$ $n(A_xB_y) = 0.1$ моль, $M(A_xB_y) = 6.4/0.1 = 64$ г/моль, $M(A_x) = 40$ - Ca при $x=1$, формула CaC_2 (5 баллов - с расчетом, 2 балла - без него)

А - ацетилен, **Б** - карбид кальция.

$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2$ (2 балла) (максимум за п.1 - 14 баллов)

2. В замкнутом пространстве нельзя долго использовать любую горелку, так как она будет тратить кислород воздуха, а те, кто стоит рядом, начнут задыхаться (2 балла)

3. Так как оставшийся в емкости продукт гидролиза карбида кальция - это водный раствор гидроксида кальция, имеющий щелочную среду, фенолфталеин окрасится в малиновый цвет. (2 балла)
4. Преимущества - очень яркое свечение и независимость от элементов питания/электронных компонентов, склонных к выведению из строя в сырости пещер. (по 1 баллу)

Задача 4.

Смесь угарного и углекислого газов массой 57,8 г и объемом 39,2 л (при н. у.) смешали с некоторым объемом кислорода, содержащим $5,7792 \cdot 10^{24}$ электронов, а затем подожгли.

Полученный после окончания реакции газ пропустили в 353,5 г водного раствора гидроксида натрия, в котором на 1 формульную единицу вещества NaOH, приходится 9 молекул воды. При этом образовался раствор соли, которую можно купить в большинстве продуктовых магазинов.

1) В результате каких процессов могла бы образоваться смесь угарного и углекислого газов?

2) Определите массу взятого при смешении кислорода.

3) Определите объемные доли угарного и углекислого газов в смеси.

4) Что представляет собой газ после смешения и поджигания смеси? Рассчитайте его общее количество (в моль)

5) Определите массовую долю гидроксида натрия во взятом для поглощения газа растворе. Какая соль при этом образовалась? Приведите ее тривиальное название и напишите уравнение реакции поглощения газа. Где применяется эта соль? Приведите 2 примера применения этой соли.

РЕШЕНИЕ

1) Смесь угарного и углекислого газов могла образоваться при неполном сгорании топлива. (0,5 баллов)

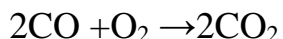
2) Так как каждая молекула кислорода содержит 16 электронов, то $n(\text{O}_2) = N/16N_A = 5,7792 \cdot 10^{24}/16 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,6$ моль. $m(\text{O}_2) = 32 \cdot 0,6 = 19,2$ г. (2,5 балла за пункт; если найдено только количество электронов – 1 балл, дошли до количества вещества кислорода - 2 балла)

3) Рассчитаем суммарное количество вещества газов в смеси. $n(\text{сум}) = V/V_M = 39,2/22,4 = 1,75$ моль. Так как молярная масса угарного газа 28 г/моль, а углекислого газа - 44 г/моль, то составим и решим систему

$$\begin{cases} n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2) = 1,75 \\ 28n(\text{CO}) + 44n(\text{CO}_2) = 57,8 \end{cases}$$
$$\begin{cases} 28n(\text{CO}) + 28n(\text{CO}_2) = 49 \\ 28n(\text{CO}) + 44n(\text{CO}_2) = 57,8 \end{cases}$$
$$\begin{cases} n(\text{CO}) = 1,2 \text{ моль} \\ n(\text{CO}_2) = 0,55 \text{ моль} \end{cases}$$

Так как объемы газов в их смесях относятся так же, как их количества, то $\phi(\text{CO}_2) = 0,55/1,75 \cdot 100\% = 31,4\%$, $\phi(\text{CO}) = 100 - 31,4 = 68,6\%$. **(любым верным путем определили количества вещества газов – по 2 балла, всего до 4 баллов, за объемные доли – 1 балл; всего 5 баллов за пункт)**

4) При смешении кислорода и смеси оксидов происходит реакция



Так как $n(\text{CO}) = 1,2$ моль, $n(\text{O}_2) = 0,6$ моль, то вещества реагируют в соответствии с коэффициентами, избытков нет, кислород и угарный газ потратятся полностью, образуется 1,2 моль углекислого газа, всего будет $1,2 + 0,55 = 1,75$ моль углекислого газа **(за уравнение 1 балл, за определение состава газа 1 балл, за количество вещества 1 балл, всего 3 балла за пункт)**

5) Так как $n(\text{H}_2\text{O}) = 9n(\text{NaOH})$, то масса водного раствора гидроксида натрия

$$m = M(\text{NaOH})n(\text{NaOH}) + M(\text{H}_2\text{O})n(\text{H}_2\text{O}) = 40n(\text{NaOH}) + 18n(\text{H}_2\text{O}) = 40n(\text{NaOH}) + 18 \cdot 9n(\text{NaOH}) = 202n(\text{NaOH}) = 353,5 \text{ г}$$

количество вещества гидроксида натрия равно $n(\text{NaOH}) = 353,5/202 = 1,75$ моль,

$$m(\text{NaOH}) = 40 \cdot 1,75 = 70 \text{ г}, \text{ массовая доля } \omega(\text{NaOH}) = 70/353,5 \cdot 100\% = 19,8\%$$

(за любой верный способ определения количества вещества щелочи 3 балла, за массу щелочи 1 балл, за массовую долю 1 балл, всего 5 баллов за расчет).

Так как $n(\text{NaOH}) = n(\text{CO}_2) = 1,75$ моль, то при пропускании газа через раствор щелочи образуется гидрокарбонат натрия $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$ **(выбор соли с обоснованием расчетом 2 балла, без расчета 1 балл; за уравнение 1 балл)**

(пищевая сода, применяется в химической, пищевой, лёгкой, медицинской, фармацевтической промышленности, цветной металлургии, в быту; например гашение соды в хлебопечении, приготовлении напитков, средство для полоскания горла, чистка посуды, приготовлении пенопластов,

пожаротушении и тд.). (за название 1 балл, за каждый разумный процесс по 0,5 баллов)

Задача 5.

Твердое вещество **A** - минерал, который входит в состав зубной эмали и представляет собой безводную смешанную соль (содержит атомы одного металла и кислотные остатки двух различных кислот). При обработке образца вещества **A** строго рассчитанным объемом водного раствора серной кислоты при 220 °С сформировался осадок соли **B** массой 51 г, содержащий 23,53 % серы (по массе). При внесении небольшого количества **B** в бесцветное пламя окраска пламени меняется на кирпично-красную. Из оставшегося после растворения минерала **A** раствора методом вакуумной отгонки (метод позволяет собирать газы, хорошо растворимые в жидкостях) собрали газ **B**, разрушающий стеклянную посуду. При в растворе осталось вещество **Г**. Объем газа **B** после приведения к нормальным условиям составил 1680 мл. Известно, что молекулы газа **B** в 10 раз тяжелее молекул водорода. После полной нейтрализации оставшегося в растворе вещества **Г** раствором гидроксида калия образовалось вещество **Д**. При прибавлении к полученному раствору вещества **Д** раствора нитрата серебра выпадает 94,275 г желтого осадка соли **Е**, состоящей из трех элементов. Соль **Е** растворима в азотной кислоте.

1. Определите состав веществ **B** - **Е** и состав минерала **A**.
2. Приведите уравнения всех описанных химических реакций.
3. Для чего в промышленности используется процесс растворения вещества **A** в серной кислоте?
4. Используя полученные при решении задачи знания о веществе **A**, объясните одну из причин возникновения заболевания зубов у человека, учитывая, что вещество **A** входит в состав зубной эмали.

РЕШЕНИЕ

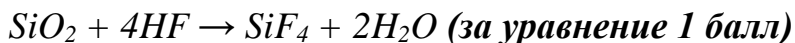
*Так как растворение минерала **A** проводили серной кислотой, то очевидно **B** – сульфат какого-то металла, разложение сульфата при температуре эксперимента маловероятно. В составе соли вряд ли может быть более 3 сульфат-анионов. $M(\text{сульфат}) = x(S) * M(S) / \omega(S) = x(S) * 32 / 0,2353 = 136 x(S)$, где $x(S)$ – число атомов серы и число сульфат- анионов.*

при $x(S) = 1$ $M(\text{сульфат}) = 136$ г/моль, 96 г/моль приходится на сульфат-анион, на металл приходится 40 г/моль, что соответствует сульфату кальция (совпадает со сведениями по окрашиванию пламени), при других

значениях $x(S)$ подобрать металл невозможно. То есть $B - CaSO_4$, в состав A входили ионы кальция. (за определение B , подтвержденное расчетом, 2 балла, только по описанию свойств 1 балл)

$$n(Ca) = n(CaSO_4) = 51/136 = 0,375 \text{ моль. (1 балл)}$$

Найдем молярную массу газа B . $M = 10 * M(H_2) = 20 \text{ г/моль}$. Среди газов с молярной массой 20 г/моль разрушение стеклянной посуды вызывает только фтороводород.

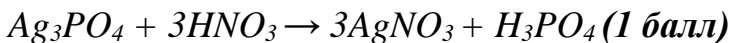
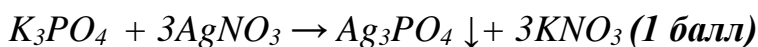


следовательно, газ $B - \text{фтороводород}$, таким образом, в состав A входили фторид-анионы. (за определение B , подтвержденное расчетом, 2 балла, только по описанию свойств 1 балл)

$$n(F) = n(HF) = 1,68/22,4 = 0,075 \text{ моль. (1 балл)}$$

По описанию свойств осадок $E - \text{фосфат серебра}$ (желтый, растворим в азотной кислоте). (1 балл)

Тогда $D - \text{фосфат калия}$ (продукт полной нейтрализации) (1 балл), $G - \text{фосфорная кислота}$. (1 балл) Тогда в состав A входили фосфат-анионы.



$$\text{Тогда } n(Ag_3PO_4) = n(PO_4) = 94,275/419 = 0,225 \text{ моль. (1 балл)}$$

Определим состав минерала

$$n(Ca):n(F):n(PO_4) = 0,375:0,075:0,225 = 5:1:3.$$

Тогда состав минерала A $Ca_5F(PO_4)_3 - \text{фторапатит}$. (также правильно удвоенные $Ca_{10}F_2(PO_4)_6$ или $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$) (3 балла)

Уравнение реакции растворения (допустимо на удвоенную формулу)



Растворение фторапатита в серной кислоте – основа экстракционного способа получения фосфорной кислоты в промышленности (принимать как способ получения сульфата кальция и фтороводорода). (1 балл)

Фторапатит – один из компонентов зубной эмали - разрушается под действием кислот, выделяемых микроорганизмами в ротовой полости, что является причиной развития кариеса. (1 балл)

Задача 6.

Окраска безводного хлорида кобальта (II) (голубой цвет) и его различных кристаллогидратов (цвет от сине-фиолетового до розового) может быть использована для создания тест-систем для определения влажности. Навеску безводного хлорида кобальта (II) массой 26 г растворили в горячей воде (70 °С) массой 34 г. После охлаждения полученного раствора до 20 °С выпало 26,2 г розовых кристаллов одного из кристаллогидратов, а массовая доля соли в оставшемся растворе составила 34,6 %. Осадок отфильтровали, фильтрат разделили на две части. В одну из частей погрузили магниевую пластину заведомо избыточной массы. После окончания реакции пластину вынули, промыли холодной водой, высушили и взвесили. Оказалось, что масса увеличилась на 2,1 г по сравнению с начальной.

1. Определите состав розового кристаллогидрата хлорида кобальта. Ответ подтвердите расчетами.
2. Какая масса магния прореагировала с первой частью фильтрата?
3. Какова масса второй части фильтрата?
4. В каком случае может быть применена тест-система для определения влажности?

РЕШЕНИЕ

1) Количество вещества безводного хлорида кобальта $n(\text{CoCl}_2) = 26/130 = 0,2$ моль. (1 балл)

Масса приготовленного горячего раствора равна

$$m(\text{раствора}) = 26 + 34 = 60 \text{ г. (1 балл)}$$

После выпадения розовых кристаллов масса маточного раствора составляет $m(\text{фильтрата}) = 60 - 26,2 = 33,8$ г. (1 балл)

Масса хлорида кобальта в маточном растворе

$$m_{\text{ф}}(\text{CoCl}_2) = \omega(\text{CoCl}_2) \cdot m(\text{фильтрата}) = 0,346 \cdot 33,8 = 11,7 \text{ г. (1 балл)}$$

Количество вещества соли в фильтрате

$$n_{\text{ф}}(\text{CoCl}_2) = 11,7/130 = 0,09 \text{ моль (1 балл)},$$

тогда в осадке $n_{\text{ос}}(\text{CoCl}_2) = 0,2 - 0,09 = 0,11$ моль (1 балл).

Масса соли в розовом осадке равна $m_{\text{ос}}(\text{CoCl}_2) = 0,11 \cdot 130 = 14,3$ г. (1 балл)

Масса кристаллизационной воды составляет

$$m_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = 26,2 - 14,3 = 11,9 \text{ г. (1 балл)}$$

Количество кристаллизационной воды $n_{кр}(H_2O) = 11,9/18 = 0,66$ моль (1 балл)

$m_{oc}(CoCl_2): n_{кр}(H_2O) = 0,11:0,66 = 1:6$, тогда состав кристаллогидрата розового цвета $CoCl_2 \cdot 6H_2O$. (1 балл)

(итого 10 баллов, любой другой подтвержденный расчетами путь нахождения верной формулы кристаллогидрата оценивается 10 баллами. За ошибку в расчете на каждой стадии расчета не ставится соответствующий балл. За приведение формулы без расчетов – 1 балл.)

2) Так как магний не реагирует с водой при комнатной температуре и является металлом более активным, чем кобальт (см. ряд напряжений металлов), то при контакте магниевой пластины с частью раствора протекает реакция $CoCl_2 + Mg \rightarrow MgCl_2 + Co$. (1 балл за уравнение)

Изменение массы пластины связано с разностью массы растворившегося магния и массы кобальта, осевшего на поверхности пластины. По уравнению реакции $n(Mg) = n(Co) = n_1(CoCl_2)$.

Тогда $\Delta m = m(Co) - m(Mg) = M(Co)n(Co) - M(Mg)n(Mg) = 59n(Mg) - 24n(Mg) = 35n(Mg)$.

По условию $\Delta m = 35n(Mg) = 2,1$ г

то есть $n(Mg) = n_1(Co) = 2,1/35 = 0,06$ моль. (3 балла за любое верное нахождение количеств вещества)

$m(Mg) = 24 \cdot 0,06 = 1,44$ г. (1 балл)

3) Так как суммарное количество вещества $n_{ф}(CoCl_2) = 0,09$ моль, а в реакцию с пластиной вошло $n_1(CoCl_2) = 0,06$ моль, то вторая часть раствора содержит

$n_2(CoCl_2) = 0,09 - 0,06 = 0,03$ моль (1 балл),

что составляет $0,03/0,09 = 1/3$ от общего количества вещества хлорида кобальта (1 балл), значит, и масса второй части фильтрата это $1/3$ от общей массы (1 балл),

что составляет $33,8/3 = 11,27$ г. (1 балл)

(всего 4 балла за пункт, любое другое обоснованное нахождение верного ответа оценивается максимально в 4 балла)

4) Шкала влажности может быть использована в метеорологических измерениях, для определения выработки ресурса осушителей и др. (1 балл)