

8 класс

Общие указания:

- *из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом*
- *если в задаче требуются расчёты, они обязательно должны быть*

Задача 1

Юный химик Вася решил отправить своей однокласснице Маше, живущей на последнем этаже Васиного многоквартирного дома, бумажное письмо, так как выходить в Интернет ему запретили родители. Вася рассчитал, что если он привяжет письмо к воздушному шарик, заполненному легким газом, можно сделать так, чтобы шарик, поднявшись вверх, зацепился за козырек над Машиным балконом, и Маша получила бы письмо Васи. Баллона с газом для надувания шариков у Васи дома не было, однако был рулон алюминиевой пищевой фольги толщиной 10 мкм и шириной 50 см, а также канистра с 20%-ной соляной кислотой, большая стеклянная бутылка, воздушный шарик с ниточкой массой 5 г и письмо массой 4 г. Для простоты считайте, что объем шарика с ниточкой и письмом отличается от объема газа в шарике пренебрежимо мало. Считайте, что фольга состоит из чистого алюминия плотностью 3 г/см³ (толщина оксидной плёнки, покрывающей фольгу, пренебрежимо мала)

- 1) Каким газом собирался заполнять шарик Вася и на какую химическую реакцию он рассчитывает? Напишите ее уравнение.
- 2) Оцените, какую минимальную длину листа фольги нужно отрезать Васе от имеющегося у него дома рулона, чтобы шарик с письмом полетел вверх? Какой объем (измеренный при нормальных условиях) при этом займет газ в шарике? Приведите ход Ваших рассуждений.
- 3) Чем потенциально опасна затея Васи? Какой газ обычно используют для надувания легких шариков? Какое химическое свойство этого газа делает его безопаснее для использования и чем оно обусловлено?
- 4) Приведите формулы еще двух газов, которые годятся для использования в Васиных целях.

Решение

1) Это водород, который выделится при реакции алюминия с соляной кислотой по уравнению реакции $2\text{Al} + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2$. **(1 балл - газ, 2 балла - уравнение, без коэффициентов - 1 балл)**

2) Устройство, которое придумал Вася - простейший аэростат. Необходимо рассчитать, сколько водорода необходимо получить Васе. Условие подъема шарика: $m(\text{аэростата}) < m(\text{воздуха})$, если они равны, шарик будет висеть в воздухе.

Пусть количество вещества водорода в шарике - x моль, тогда $2x + 5 + 4 = 29x$, $x = 1/3$ моль, а минимальное количество алюминия, необходимое для получения по уравнению реакции - $2/9$ моль. Масса алюминия - $2/9 * 27 = 6$ г, объем - 2см^3 . Длина фольги ($V = abc \Rightarrow a = V/bc = 2/(50 * 0.001) = 40$ см. $V(\text{H}_2) = 22.4 * 1/3 = 7.46$ л. **(полный расчет - 5 баллов, ошибка в порядке/размерности - 3 балла, записано условие взлета (уравнение или неравенство с одной переменной) - 2 балла)**

3) Водород - горючий газ, поэтому наличие огня или искр на пути шарика может привести к его взрыву. **(2 балла)** Поэтому обычно для надувания шариков используется гелий **(2 балла)** - он инертен в силу того, что имеет заполненные электронные оболочки и не вступает в химические реакции **(инертность - 2 балла, объяснение - 2 балла)**.

4) NH_3 , CH_4 и другие газы легче воздуха (29 г/моль). Отдельно стоит отметить, что водяные пары в качестве газа не подходят - при разумной температуре окружающей среды водяной пар не может быть получен в концентрации, соответствующей атмосферному давлению (так как давление насыщенных паров при температуре ниже температуры кипения меньше атмосферного), поэтому расчеты для водяного пара будут неверны. **(по 2 балла за каждый, максимум 4 балла)**

Задача 2

Две одинаковых колбы объемом 560 мл, закупоренные пробками из мягкой резины, заполнены при нормальных условиях сухими газами А и Б соответственно. С помощью шприца в каждую из колб вводят по 10 мл раствора лакмуса и встряхивают. В колбе А раствор лакмус приобрел красную окраску, а в колбе Б - синюю. После этого закупоренные колбы с раствором лакмуса перевернули пробкой вниз, и в каждую из них с помощью еще одного шприца ввели по 150 мл воды, при этом в первые секунды поршень шприца двигался сам, а поступающая в колбы вода в обоих случаях была вверх фонтаном.

- 1) Что представляют собой газы А и Б?
- 2) Почему вода из второго шприца била фонтаном в обеих колбах? Объясните природу этого явления.
- 3) Будет ли одинаковой масса растворов, находящихся в каждой из колб? Если нет, рассчитайте разницу масс этих растворов.
- 4) Что будет наблюдаться, если до добавления жидкостей открыть обе колбы и максимально приблизить друг к другу их горлышки? Почему?
- 5) Если в описанном эксперименте вводить вместо раствора лакмуса чистую воду, а потом, после завершения работы «фонтана», открыть обе колбы и смешать их содержимое, а затем жидкость выпарить, в чашке для выпаривания останутся бесцветные кристаллы. Что это за кристаллы и какова будет их масса, если пренебречь возможными потерями при выпаривании?

Решение

- 1) А - хлороводород, Б- аммиак. *(по 2 балла, всего 4 балла, вместо HCl также подходит любой галогеноводород. Также в этом пункте засчитывались любые газы, дающие кислую среду при растворении в воде - сернистый, углекислый и пр., но дальнейшее решение не засчитывалось, т.к. в силу их меньшей растворимости не будет наблюдаться описанного явления «фонтана»)*
- 2) Это хорошо растворимые в воде газы, поэтому при попадании первой порции воды с лакмусом все содержимое колб растворяется в жидкости, изменяется среда (на кислую и щелочную соответственно), а в колбе создается область пониженного давления, заставляющая «фонтан» работать *(объяснение - 5 баллов, просто указание на пониженное давление без указания причин его возникновения, то есть хорошей растворимости газов - 2 балла)*
- 3) Нет, масса не будет одинаковой, поскольку изначально в колбах содержалась разная масса газов. Масса хлороводорода $m(\text{HCl}) = 0.56/22.4 \cdot 36.5 = 0.9125$ г, $m(\text{NH}_3) = 0.56/22.4 \cdot 17 = 0.425$ г, $\Delta m = 0.4875$ г. Разница есть, хоть и незначительная *(просто ответ да/нет - 1 балл, расчет - еще 3 балла)*
- 4) Если так сделать, пойдет белый дым, состоящий из мелких частиц кристаллического хлорида аммония. Из двух газообразных продуктов образуется твердый, и мы наблюдаем дым. *(2 балла - признак, 2 балла - указание на образование твердого продукта)*
- 5) Это хлорид аммония, его масса будет равняться сумме масс содержащихся в колбах аммиака и хлороводорода ($0.9125 + 0.425 = 1.3375$ г) *(1 балл - название продукта, 2 балла расчет)*

Задача 3

Гипотермический пакет «СНЕЖОК» используется в медицине как холодный компресс для оказания первой помощи и предназначен для местного охлаждения тканей организма при травмах, ушибах, перегревах, укусах насекомых, способствуя тем самым снижению воспалительной реакции в тканях и остановке кровотечения. В состав наиболее распространенного пакета входит 50 г нитрата аммония (NH_4NO_3) и 90 г воды, изначально разделенные перегородкой. При активации пакета (удалении перегородки) происходит растворение соли в воде, при этом поглощается огромное количество теплоты из окружающей среды - 25.6 кДж на каждый моль соли.

- 1) Рассчитайте, на сколько градусов охладится данный пакет, если теплоемкость полученного раствора соли принять равной теплоемкости воды ($4,2 \text{ Дж}/(\text{г}\times^\circ\text{C})$)?
- 2) Возможно ли повторное использование пакета? Как можно его регенерировать?
- 3) Где еще применяется нитрат аммония? Назовите две области его применения
- 4) Кроме химических «хладопакетов» существуют также и химические «грелки», которые разогреваются при активации. Предложите два различных варианта конструкции таких грелок, кратко опишите принцип их действия.

Решение

- 1) Для охлаждения пакета на 1 градус необходима теплота $Q_1 = 4.2 \cdot 140 = 588 \text{ Дж} = 0.588 \text{ кДж}$. При растворении такого количества соли в воде выделится $Q_2 = 50/80 \cdot 25.6 = 16 \text{ кДж}$, температура охлаждения $T = Q_2/Q_1 = 16/0.588 = 27.2$ градуса. **(6 баллов - полностью верный расчет, ошибка в размерности/порядке или арифметическая - 3 балла)**
- 2) Для повторного использования необходимо выпарить воду из раствора, собрать соль, налить новую воду и восстановить перегородку. **(4 балла)**
- 3) Пиротехника (селитра), сельское хозяйство (удобрения) **(по 2 балла за область)**
- 4) Для термических пакетов можно использовать как минимум три принципа
а) экзотермическую реакцию, например, нейтрализацию (можно сделать 2 отсека - в один налить кислоту, в другую - щелочь)

б) экзотермический фазовый переход, например, кристаллизация из пересыщенного раствора (на этом принципе построена популярная у охотников и рыбаков ацетатная грелка)

в) экзотермическое растворение - например, NaOH в воде.

(за каждую разумную конструкцию - по 3 балла: 1 балл за устройство (достаточно состава, чертёж или описание приветствуется, но не влияет на баллы) и 2 балла за принцип действия, всего максимум 6 баллов за пункт)

Задача 4

Природный минерал **A** массой 41,4 подвергли длительному обжигу в кислороде. полученный при этом бесцветный газ **B** с резким запахом пропустили в избыток известковой воды. Полученный белый осадок **B** массой 54 г растворяется в соляной кислоте с выделением исходного количества газа **B**. Твердый остаток после обжига минерала **A** длительное время нагревали в токе водорода. Полученная смесь твердых веществ массой 27 г частично растворяется в разбавленной соляной кислоте, при этом выделяется 5,04 л (н.у.) водорода и изначально образуется светло-зеленый раствор соли **Г**. Остаток после обработки кислотой имеет красноватый цвет, его масса составляет 14,4 г. Определите вещества **B –Г**, запишите уравнения всех описанных реакций. Определите формулу основного вещества минерала **A**.

Решение

Газ **B** по описанию свойств - сернистый газ, тогда осадок **B** – сульфит кальция. Значит, в состав **A** входила сера. $n(\text{CaSO}_3) = 54/120 = 0,45$ моль. $n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = n(\text{CaSO}_3) = 0,45$ моль (**1 балл**) $m(\text{S}) = 0,45 \cdot 32 = 14,4$ г (**1 балл**)

Если, допустим, минерал **A** – природный сульфид, то при его обжиге должны были образовываться оксиды металлов, или металлы (в случае серебра и ртути), или соответствующие смеси. При нагревании смеси в токе водорода должны получиться металлы, или, как в нашем случае, смесь металлов. Один из металлов растворяется в соляной кислоте.

$\text{Me} + x\text{HCl} = \text{MeCl}_x + x/2\text{H}_2$ где **M** – молярная масса металла, **x** – заряд катиона.

Его масса $m(\text{Me}) = 27 - 14,4 = 12,6$ г, а количество вещества тогда $n(\text{H}_2) = 5,04/22,4 = 0,225$ моль, по уравнению $n(\text{Me}) = 12,6/\text{M} = 2n(\text{H}_2)/x = 0,45/x$, откуда $\text{M} = 12,6x/0,45 = 28x$.

При $x = 1$ $\text{M} = 28$ г/моль, что не соответствует ни одному однозарядному катиону металла,

при $x = 2$ $M = 56$, г/моль, что соответствует железу (II), что подтверждается и описанием цвета раствора после растворения в соляной кислоте. **(за определение железа с расчетом 3 балла, по описанию свойств - 1 балл)**

$$n(\text{Fe}) = 12,6/56 = 0,225 \text{ моль. (1 балл)}$$

Остаток после растворения по описанию свойств – медь. $n(\text{Cu}) = 14,4/64 = 0,225$ моль. **(1 балл)**

Проверим, были еще какие-либо элементы кроме железа меди и серы в составе А

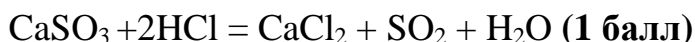
$$41,4 - 12,6 - 14,4 - 14,4 = 0, \text{ то есть состав А можно представить как } \text{Cu}_a\text{Fe}_b\text{S}_c$$

$$a:b:c = n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = 0,225:0,225:0,45 = 1:1:2 \text{ (3 балла)}$$

состав А - CuFeS_2 (это халькопирит).

Суммарно за расчет формулы 10 баллов.

$4\text{CuFeS}_2 + 13\text{O}_2 = 4\text{CuO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ **(2 балла, если не уравнено, или написаны другие оксиды меди или железа – 1 балл)**



А - CuFeS_2 Б - SO_2 **(1 балл)** В - CaSO_3 **(1 балл)** Г - FeCl_2 **(1 балл)**

Задача 5

Химический элемент А образует простое вещество – металл, кубик из которого с длиной ребра 5 см содержит $5,46 \cdot 10^{24}$ атомов А. Плотность металла составляет $1,74$ г/см³. Химический элемент Б образует несколько простых веществ – неметаллов, среди которых наиболее известны В (прозрачные кристаллы очень высокой твердости) и Г (черное твердое вещество слоистой структуры, обладающее проводимостью). При сжигании как В, так и Г образуется газ Д с относительной плотностью по кислороду 1,375.

Элементы А и Б образуют несколько бинарных соединений друг с другом. Среди них – Е (массовая доля элемента А, в котором – 50%) и Ж (молярная доля элемента Б в котором 60%). При взаимодействии этих бинарных веществ с водой выделяются газы З и И соответственно (З и И – летучие водородные

соединения элемента **Б**), и в обоих случаях образуется белый осадок **К**, также получаемый при реакции металла **А** с кипящей водой. При 0°C и атмосферном давлении 5,6 л газа **З** имеет массу 6,5 г, а 5,6 л газа **И** – 10 г. Определите химические элементы **А** и **Б**, формулы веществ **В** – **К**, напишите уравнения реакций получения газов **З** и **И**.

Решение

Масса кубика из металла **А**: $m(A) = 1,74 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 217,5$ г, в нем содержится

$$n(A) = N/N_A = 5,46 \cdot 10^{24} / 6,02 \cdot 10^{23} = 9,07 \text{ моль } A.$$

$M = m/n = 217,5/9,07 = 24$ г/моль, то есть металл **А** и химический элемент **А** – магний (**3 балла, без расчета - 1 балл**)

По описанию свойств элемент **Б** – углерод, а вещества **В** и **Г** – алмаз и графит соответственно. При их сжигании образуется **Д** - углекислый газ CO_2 , относительная плотность которого по кислороду равна $D = M(CO_2)/M(O_2) = 44/32 = 1,375$, что отвечает условию задачи. (**по 1 баллу за вещества Б-Г, 1 балл за расчет**)

Получаем, что вещества **Е** и **Ж** – карбиды магния общей формулой Mg_aC_b

В веществе **Е** $a:b = w(Mg)/24:w(C)/12 = 50/24:50/12 = 1:2$, то есть состав **Е** MgC_2 (**3 балла**)

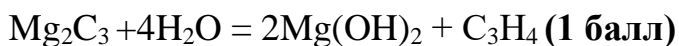
В веществе **Ж** $a:b = \chi(Mg):\chi(C) = 40:60 = 2:3$, то есть состав **Ж** Mg_2C_3 (**3 балла**)

При нормальных условиях 5,6 л газа соответствует количеству вещества $n = 5,6/22,4 = 0,25$ моль. Тогда $M(З) = 6,5/0,25 = 26$ г/моль (**1 балл**), $M(И) = 10/0,25 = 40$ г/моль (**1 балл**).

При реакции магния с водой образуется гидроксид магния: $Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2$ (**1 балл**)

Это же вещество (**К**) образуется при гидролизе карбидов. Газы – углеводороды. По молярным массам

З – C_2H_2 (**1 балл**), **И** – C_3H_4 (**1 балл**) (например, **З** содержит не более и не менее 2 атомов углерода, $2 \cdot 12 = 24$ г/моль, остается 2 г/моль, что соответствует 2 атомам Н, аналогично для **И**).



Задача 6

Жёсткость воды — совокупность химических и физических свойств воды, связанных с содержанием в ней растворённых солей щёлочноземельных металлов, главным образом, кальция и магния (так называемых солей жёсткости). Различают временную (гидрокарбонатную) жесткость воды и постоянную жесткость воды. Временная жесткость обусловлена наличием в воде растворимых гидрокарбонатов кальция и магния, при кипячении воды эти растворимые гидрокарбонаты разлагаются, жесткость воды снижается, однако на стенках сосудов образуется нерастворимая в воде накипь. Постоянная жесткость обусловлена содержанием в воде других солей кальция и магния (хлоридов, нитратов, сульфатов и др), постоянная жесткость не снижается при кипячении, для ее устранения требуется обрабатывать воду специальными реагентами — например, известковой воды, технической соды или ортофосфата натрия. По принятому в 2014 году ГОСТ жёсткость выражается в градусах жесткости (°Ж). 1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр.

а) какая масса в (г) атомов кальция или атомов магния содержится в 1 л воды жесткостью 1 °Ж, если жесткость обусловлена только одним типом атомов?

б) в 500 мл воды растворили совместно 0,81 г гидрокарбоната кальция и 0,95 г хлорида магния. Какова жесткость полученного раствора в градусах жесткости?

в) Допустим, что временная жесткость воды создается только гидрокарбонатом кальция. Напишите уравнение реакции, соответствующей процессу уменьшению временной жесткости при кипячении воды. Каков состав накипи? Какая масса накипи может потенциально образоваться при 100 кипячениях чайника объемом 2 л, если временная жесткость воды в данной местности составляет 1,5 °Ж? Какой химический способ удаления накипи можно предложить?

г) Напишите уравнения реакций, которые лежат в основе уменьшения постоянной жесткости воды (условно созданной только сульфатом магния) при помощи известковой воды (раствора гидроксида кальция), технической соды (карбоната натрия), ортофосфата натрия. Какая масса 10% раствора ортофосфата натрия нужна для полного смягчения 1 м³ воды жесткостью 9 °Ж?

Решение

а) 1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр. Следовательно, в 1 нашего раствора содержится 0,5 ммоль атомов кальция или магния.

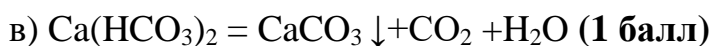
$$m(\text{Ca}) = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ мг} = 0,02 \text{ г (1 балл)}$$

$$m(\text{Mg}) = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ мг} = 0,012 \text{ г (1 балл)}$$

б) $n(\text{Ca}) = n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,81/162 = 0,005 \text{ моль} = 5 \text{ ммоль. (1 балл)}$

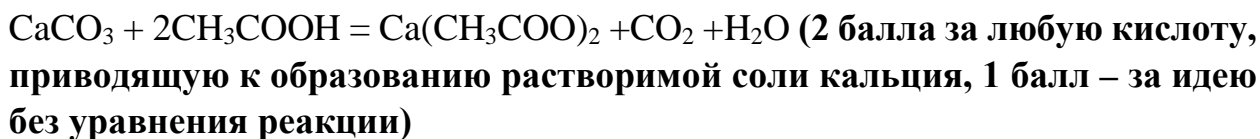
$$n(\text{Mg}) = n(\text{MgCl}_2) = 0,95/95 = 0,01 \text{ моль} = 10 \text{ ммоль (1 балл)}$$

1 °Ж соответствует концентрации кальция или магния, численно равной 1/2 его миллимоль на литр, следовательно, жесткость равна $(2n(\text{Ca}) + 2n(\text{Mg}))/V = (2 \cdot 5 + 2 \cdot 10)/0,5 = 60 \text{ °Ж (2 балла)}$



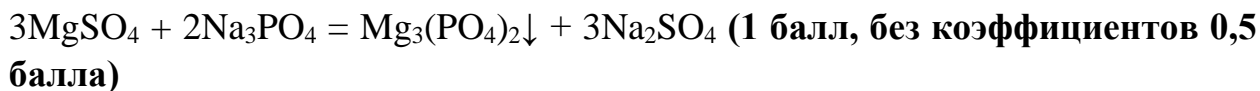
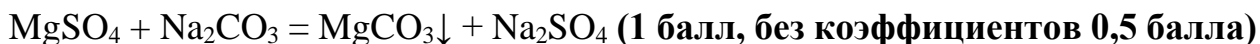
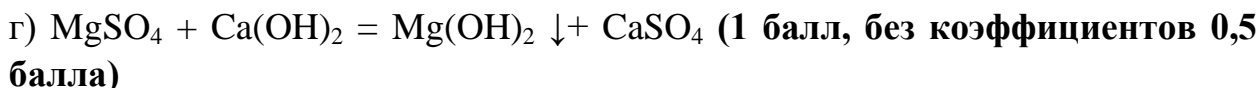
в нашем случае накипь – это осадок карбонат кальция. (1 балл)

Для его удаления можно предложить обработать поверхность с накипью какой-нибудь кислотой, например



Было прокипячено $100 \cdot 2 = 200$ л воды.

$$n(\text{Ca}) = 200 \cdot 1/2 \cdot 1,5 = 150 \text{ ммоль} = 0,15 \text{ моль. } m(\text{CaCO}_3) = 0,15 \cdot 100 = 15 \text{ г. (2 балла)}$$



$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$. При жесткости в 10 °Ж такой объем содержит $n(\text{Mg}) = n(\text{MgCl}_2) = 9 \cdot 1/2 \cdot 1000 = 4500 \text{ ммоль} = 4,5 \text{ моль (2 балла)}$

по уравнению $n(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 2/3 n(\text{MgCl}_2) = 3 \text{ моль}$.

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 164 = 492 \text{ г}$$

$m_p(\text{Na}_3\text{PO}_4) = m(\text{Na}_3\text{PO}_4)/\omega = 492/0,1 = 4920 \text{ г. (3 балла за расчет массы раствора фосфата натрия)}$