



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

Задание 1.

Этот красивый минерал известен человеку с древних времён. Индейцы инки считали его застывшей кровью своих предков и использовали для изготовления ювелирных и ритуальных украшений. Отсюда пошло одно из его названий – роза инков. В Монголии этот минерал считается символом любви. В настоящее время этот минерал используется не только как декоративный и ювелирный материал, но и как одна из основных руд для получения широко используемого в чёрной металлургии металла.

При растворении 11.5 г этого минерала в избытке азотной кислоты выделяется 2.24 л газа, плотность которого (при н.у.) равна 1.964×10^{-3} г/мл. Нагревание полученного раствора с избытком диоксида свинца приводит к изменению цвета раствора на малиновый. При термическом разложении такой же навески минерала образуется газ того же объёма и 7.1 г твёрдого вещества серо-зелёного цвета, которое при прокаливании на воздухе при температуре выше 1000 °С превращается в коричнево-чёрное бинарное соединение с массовой долей металла, равной 72.05%. Установите состав минерала, подтвердив свои выводы расчётами. Напишите уравнения всех упомянутых реакций. Как называется этот минерал? Какой ещё широко распространённый минерал образует металл, входящий в состав «розы инков»? Где этот минерал встречается в больших количествах?

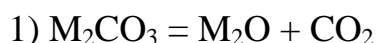
Решение

Найдём молярную массу выделившегося газа:

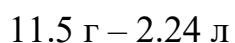
$M = \rho \cdot V_m = 1.964 \text{ г/л} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 44$. Такую молярную массу имеет углекислый газ CO_2 . Следовательно, минерал представляет собой средний карбонат или основной карбонат. Так как при прокаливании минерала вода не выделяется (образуется только углекислый газ того же объёма и твёрдый остаток), то это средний карбонат:



Запишем реакцию разложения карбоната. Возможны три варианта:



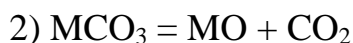
По уравнению реакции:



Отсюда получаем, что $A_r(M) = 27.5$ – такого металла нет.



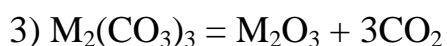
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс



$A_r(\text{M}) + 60 \text{ г минерала} - 22.4 \text{ л CO}_2$

$11.5 \text{ г} - 2.24 \text{ л}$

$A_r(\text{M}) = 22.4 * 11.5 / 2.24 - 60 = 55$. Это марганец.



$2A_r(\text{M}) + 60 * 3 \text{ г минерала} - 22.4 * 3 \text{ л CO}_2$

$11.5 \text{ г} - 2.24 \text{ л}$

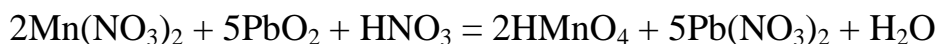
$A_r(\text{M}) = 82.5$ – такого металла нет.

Таким образом, неизвестный минерал – карбонат марганца MnCO_3 (родохрозит).

Уравнение его реакции с азотной кислотой:



При нагревании раствора нитрат марганца с оксидом свинца образуется марганцевая кислота (малиновый раствор):



Уравнение реакции термического разложения:



Вещество серо-зелёного цвета – оксид марганца(II) MnO .

Очевидно, что коричнево-чёрное бинарное соединение – это тоже оксид.

Определим состав этого оксида Mn_xO_y .

$$w(\text{Mn}) = 55x / (55x + 16y) = 0.7205.$$

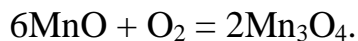
Отсюда получаем:

$$15.373x = 11.528y,$$

$$x = 0.75y.$$

При $y = 4$, $x = 3$. Таким образом, формула оксида – Mn_3O_4 .

Этот оксид образуется при нагревании MnO на воздухе:



Ещё более распространённый минерал марганца – пиролюзит MnO_2 , встречающийся в больших количествах на дне морей и океанов в виде железомарганцевых конкреций.



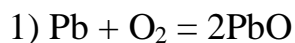
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

Задание 2.

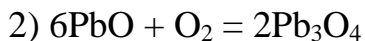
В одном из алхимических трактатов XIII века приведён следующий рецепт получения философского камня (мифической субстанции, позволяющей превращать все металлы в золото): «Чтобы приготовить эликсир мудрецов, или философский камень, возьми, сын мой, философской ртути и накаливай, пока она не превратится в *зелёного льва*. После этого прокаливай сильнее, и она превратится в *красного льва*. Дигерируй этого красного льва на песчаной бане с *кислым виноградным спиртом*, декантируй и выпари жидкость, и ртуть превратится в *сладкое камедообразное вещество*, которое можно резать ножом (дигерирование – нагревание твёрдого тела с жидкостью без доведения её до кипения). Положи его в обмазанную глиной реторту и не спеша дистиллируй. Собери отдельно жидкости различной природы, которые появятся при этом. Ты получишь *безвкусную флегму*, *спирт* и красные капли. Киммерийские тени покроют реторту своим тёмным покрывалом, и ты найдешь внутри нее *истинного дракона*, потому что он пожирает свой хвост. Возьми этого черного дракона, разотри на камне и прикоснись к нему раскалённым углем. Он загорится и, приняв вскоре великолепный лимонный цвет, вновь воспроизведет *зелёного льва...*».

Известно, что философской ртутью алхимики называли свинец. Какие химические превращения описаны в данном рецепте? Приведите уравнения соответствующих реакций и назовите зашифрованные алхимиком вещества (выделенные курсивом), если известно, что содержание свинца в камедообразном веществе составляет 54.617%, а массовая доля углерода в «спирте» – 62.069%.

Решение



Зелёный лев – PbO (вещество жёлтого цвета, при наличии примесей свинца может иметь зеленоватый цвет).



Красный лев – свинцовый сурик Pb_3O_4 .



Кислый виноградный спирт – уксусная кислота CH_3COOH .



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

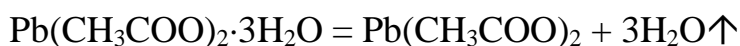
Так как массовая доля свинца в ацетате свинца меньше 54.617%, следовательно при упаривании раствора ацетата образуется кристаллогидрат $Pb(CH_3COO)_2 \cdot xH_2O$ – «свинцовый сахар» (камедообразное вещество).

Рассчитаем количество молекул воды в кристаллогидрате:

$$w(Pb) = 207 / (207 + 59 \cdot 2 + 18x) = 207 / (325 + 18x) = 0.54617$$

Отсюда $x = 3$. Таким образом, формула кристаллогидрата – $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$.

4) Термическое разложение тригидрата ацетата свинца:



Безвкусная флегма – H_2O , истинный дракон – Pb (покрывает колбу налётом мелкодисперсного порошка – «чёрное покрывало»).

Определим формулу «спирта». Запишем формулу этого соединения как $C_xH_yO_z$. Массовая доля углерода равна:

$$w(C) = 12x / (12x + y + 16z) = 0.62069$$

Получаем:

$$4.5517x = 0.62069y + 9.931z$$

Разделим на наименьший из множителей (0.62069):

$$7.333x = y + 16z$$

Очевидно, целочисленные значения x, y, z получаются при минимальном значении x , равном 3:

$$22 = y + 16z$$

При $z = 1$ получаем $y = 6$.

Простейшая формула «спирта» – C_3H_6O .

Данной формуле отвечает ацетон $(CH_3)_2CO$, часто выделяющийся при разложении ацетатов «двухвалентных» металлов.



Задание 3.

Содержание углекислого газа в атмосфере в настоящее время составляет 0.03% (вес.). При этом в океанах растворено $3.5 \cdot 10^{14}$ т углекислого газа. Рассчитайте, во сколько раз увеличится массовая доля CO_2 в атмосфере, если весь растворенный в океанах газ выделится в атмосферу. Возможно ли в этом случае будет существование человека? Предельно допустимая концентрация



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

(ПДК) CO_2 в воздухе составляет 9 г/м^3 , средняя молярная масса воздуха – 29 г/моль , массу атмосферы примите равной $5 \cdot 10^{15} \text{ т}$. Как изменится при этом среднегодовая температура на поверхности Земли, если увеличение концентрации CO_2 в два раза приводит к повышению температуры на $5 \text{ }^\circ\text{C}$? Запишите уравнения реакций всех процессов, которые происходят при растворении углекислого газа в воде. Каким станет pH раствора (<7 , >7 , $=7$)?

Решение

Рассчитаем массу углекислого газа в атмосфере:

$$m_1(\text{CO}_2) = m(\text{атм}) \cdot w = 5 \cdot 10^{15} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 1.5 \cdot 10^{12} \text{ т.}$$

Масса CO_2 после выделения из океана:

$$m_2(\text{CO}_2) = 1.5 \cdot 10^{12} + 3.5 \cdot 10^{14} = 3.5015 \cdot 10^{14} \text{ т.}$$

Массовая доля углекислого газа:

$$w_2(\text{CO}_2) = m_2(\text{CO}_2) / m(\text{атм}) \cdot 100\% = 3.5015 \cdot 10^{14} / (5 \cdot 10^{15} + 3.5 \cdot 10^{14}) \cdot 100 = \\ = 3.5015 \cdot 10^{16} / 5.35 \cdot 10^{15} = 6.54\%. \text{ Таким образом, содержание углекислого}$$

газа в атмосфере возрастёт в $6.54 / 0.03 = 218$ раз.

Рассчитаем объёмную концентрацию CO_2 в атмосфере после его выделения из океана.

Объём атмосферы равен:

$$V = m / \rho$$

Плотность атмосферы равна:

$$\rho = M / V_m.$$

Получаем:

$$V = m / \rho = m \cdot V_m / M = 5.35 \cdot 10^{21} \text{ г} \cdot 0.0224 \text{ м}^3 / \text{моль} / 29 \text{ г/моль} = 4.13 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

$$C_V(\text{CO}_2) = m_2(\text{CO}_2) / V = 3.5015 \cdot 10^{20} \text{ г} / 4.13 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 84.8 \text{ г/м}^3.$$

$$C_V(\text{CO}_2) / \text{ПДК} = 84.8 / 9 = 9.4.$$

Таким образом, ПДК CO_2 в воздухе будет превышена в 9.4 раза. Существование человека станет невозможным (концентрация углекислого газа 8 % приводит к смерти в течение 30-60 минут, концентрация 6.5% также будет смертельной).

Увеличение среднегодовой температуры атмосферы:

$$\Delta T = 5 \cdot x$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

$$218 = 2^x$$

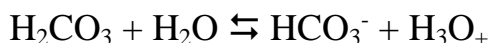
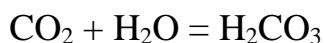
Отсюда получаем:

$$x = \lg 218 / \lg 2 = 7.8$$

$$\Delta T = 5 * 7.8 = 39.$$

Таким образом, увеличение концентрации углекислого газа в воздухе в 218 раз приведёт к увеличению среднегодовой температуры за счёт парникового эффекта на 39 °С, вследствие чего большинство живых организмов на Земле погибнет.

При растворении углекислого газа в воде протекают следующие процессы:



В результате pH раствора становится <7.

Задание 4.

Кристаллическое вещество А, входящее в состав спичечных головок, при нагревании разлагается с образованием твёрдых веществ Б и В. В присутствии пиролюзита разложение идёт с образованием Б и газа Г, плотность которого равна 1.429 г/л. При действии на А концентрированной серной кислоты выделяется неустойчивый газ Д с резким запахом, разлагающийся при нагревании со взрывом на простые вещества Г и Е. При пропускании Е в горячий раствор едкого кали образуются вещества А и Б. Содержание неизвестного элемента Э в бинарном соединении Д составляет 52.59% (по массе), а в А – 28.98%. Определите (подтвердив расчётами) и назовите вещества А – Е и элемент Э. Запишите уравнения всех описанных химических реакций. Кто и когда открыл вещества Г и Е? Как оно образуется в природе?

Решение

Рассчитаем молярную массу газа Г:

$$M = \rho * V_m = 1.429 * 22.4 = 32. \text{ Следовательно, газ Г – кислород.}$$

Из описания превращений следует, что А – калиевая соль кислородсодержащей кислоты $\text{K}_x\text{ЭO}_y$.

Рассчитаем атомную массу элемента Э:

$$w(\text{Э}) = A_r(\text{Э}) / [39x + 16y + A_r(\text{Э})] = 0.2898$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

Отсюда получаем:

$$0.7102 A_r(\text{Э}) = 11.3022x + 4.6368y$$

$$A_r(\text{Э}) = 15.91x + 6.53y.$$

Перебором значений x и y получаем при $x = 1$ и $y = 3$ $A_r(\text{Э}) = 35.5$.

Таким образом, элемент Э – **хлор**, а соединение А – **хлорат калия** KClO_3 .

Реакции разложения хлората калия:



Таким образом, Б – хлорид калия KCl , В – перхлорат калия KClO_4 .

Рассчитаем состав бинарного соединения Д, в состав которого входит, очевидно, хлор и кислород (Cl_xO_y):

$$w(\text{Cl}_2) = 35.5x / (35x + 16y) = 0.5259$$

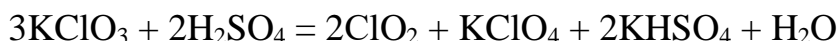
Отсюда:

$$16.831x = 8.414y$$

$$x = 0.5y \text{ или } y = 2x$$

Таким образом, формула оксида ClO_2 (диоксид хлора).

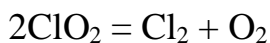
Реакция хлората калия с серной кислотой:



Реакция хлора с раствором гидроксида калия (едкое кали) при нагревании:



Реакция разложения ClO_2 :



Хлор был открыт великим шведским химиком Карлом Шееле в 1774 г, кислород получили практически одновременно английский химик Джозеф Пристли, Карл Шееле и великий французский химик Антуан Лоран Лавуазье (1771-1775 гг).

В природе кислород образуется на свету в хлоропластах растений в результате фотосинтеза при участии фермента хлорофилла:

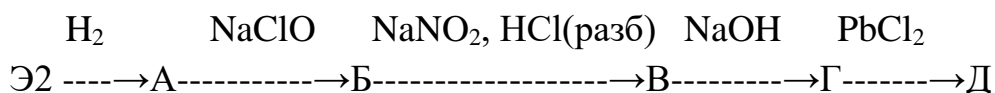


Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс



Задание 5.

Осуществите цепочку превращений с участием элемента Э:



Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания. Определите и назовите фосфорсодержащие вещества А – Д, если известно, что содержание водорода в соединениях А, Б и В составляет 17.647, 12.500 и 2.326% (по массе) соответственно.

Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания 6.4 г вещества Б, если известно, что теплоты образования вещества Б и воды равны 50.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

Где применяются вещества Б и Д? Какова роль элемента Э в процессах жизнедеятельности?

Решение

Рассчитаем молярную массу элемента Э по массовой доле в соединении А с водородом (ЭH_x):

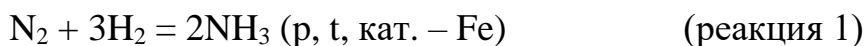
$$w(\text{H}) = x / (A_r(\text{Э}) + x) = 0.17647$$

Отсюда:

$$0.82353x = 0.17647A_r(\text{Э})$$

$$A_r(\text{Э}) = 4.667x$$

При $x=3$ получаем $A_r(\text{Э}) = 14$, то есть элемент Э – азот N_2 , а соединение А – аммиак NH_3 .



Так как при сгорании Б ничего, кроме воды и простых веществ не выделяется, вещество Б также представляет собой соединение азота с водородом N_xH_y . Найдем его простейшую формулу:

$$w(\text{H}) = y / (y + 14x) = 0.125$$

Отсюда:

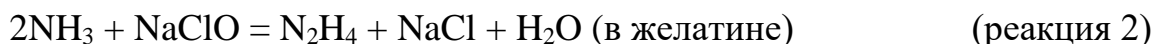
$$0.875y = 1.75x$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

$$y = 2x.$$

Таким образом, простейшая формула соединения Б – NH_2 . Этой формуле отвечает гидразин N_2H_4 . Соединение Б – гидразин.



Рассчитаем молярную массу фрагмента Z в соединении В (H_xZ):

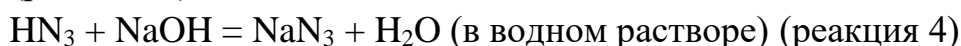
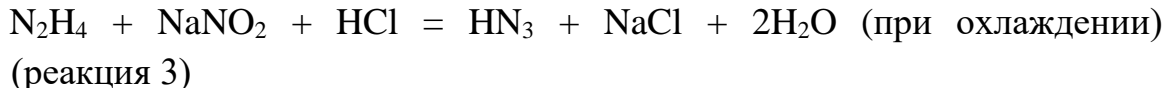
$$w(\text{H}) = x/(x + A_r(\text{A})) = 0.02326$$

Отсюда получаем:

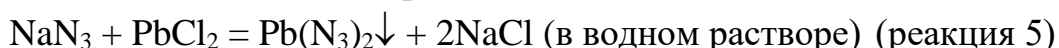
$$0.9767x = 0.02326 A_r(\text{A})$$

$$A_r(\text{A}) = 42x$$

При $x = 1$ $A_r(\text{A}) = 42$. Очевидно, в состав В могут входить только азот и, возможно, кислород. Однако комбинации с участием атомов кислорода не дают приемлемых результатов. Если предположить, что соединение В представляет собой также соединение азота с водородом, получаем, что молярной массе 42 отвечает фрагмент N_3 . Таким образом, В – азидоводород HN_3 .



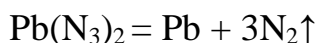
Соединение Г – азид натрия NaN_3 .



Соединение Д – азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$.

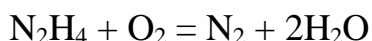
Азид свинца применяется в качестве детонатора в капсулях патронов.

При ударе азид свинца взрывается:



и детонирует пороховой заряд патрона.

Уравнение сгорания гидразина:



Теплота образования 1 моль гидразина:

$$Q_p = 2Q(\text{H}_2\text{O}) - Q(\text{N}_2\text{H}_4) = 285.8 \cdot 2 - 50.5 = 521.1 \text{ кДж/моль}$$

(теплоты образования простых веществ равны нулю).

Количество гидразина: $n = m/M = 6.4/32 = 0.2$ моль

Теплота, выделяющаяся при сгорании 6.4 г гидразина:



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Химия 9 класс

$$Q = Q_p \cdot n = 521.1 \cdot 0.2 = 104.2 \text{ кДж}$$

Так как при сгорании гидразина выделяется большое количество тепла и большой объём газа, гидразин и его производные используются в качестве ракетного топлива.

Азот входит в состав белков (в том числе многих ферментов, например гемоглобина) и ДНК. Соединения азота также играют важнейшую роль в регуляции роста и жизнедеятельности растений.