



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Химия»

Классы участия: 8-9

Вариант задания: 1

Задача 1. (10 баллов)

Известно, что для вызова искусственных дождей, используемых при тушении крупных лесных пожаров, применяют йодид серебра. В облака вносятся мельчайшие частицы этого реагента, которые становятся центрами кристаллизации переохлажденной воды. Кристаллы быстро растут и, когда они становятся тяжелыми, выпадают из облаков в виде снега или превращаются в дождь, если на пути к земле достаточно тепло. Установлено, что один грамм йодида серебра дает начало примерно для 10^{13} центров кристаллизации, а нескольких граммов реагента достаточно, чтобы из облака средних размеров вылилось 10000 т воды. Рассчитайте, сколько ионов серебра содержится в одной частице, являющейся центром кристаллизации. Сколько противопожарных самолетов потребовалось бы для доставки к месту пожара указанной массы воды, если грузоподъемность самолета составляет 12 т?

Решение:

Для образования одного центра кристаллизации требуется масса йодида серебра

$$m(\text{AgI}) = 1/10^{13} = 10^{-13} \text{ (г)}$$

Зная молярную массу йодида серебра, определяем его количество вещества

$$n(\text{AgI}) = m(\text{AgI}) / M(\text{AgI}) = 10^{-13} / 235 (234,77) = 4,255 \cdot 10^{-16} (4,259 \cdot 10^{-16}) \text{ (моль)},$$

$$n(\text{Ag}^+) = 4,255 \cdot 10^{-16} \text{ моль.}$$



Зная, что в 1 моль вещества содержится $6,02214076 \cdot 10^{23}$ микрочастиц, определяем число ионов серебра

$$N(\text{AgI}) = N(\text{Ag}^+) = 4,255 \cdot 10^{-16} \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} = 2,56 \cdot 10^8.$$

Количество противопожарных самолетов определяется как

$$10000/12 = 833,3 \approx 834$$

Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|---|------|
| Определена масса йодида серебра в одном центре кристаллизации. | 2 |
| Рассчитано количество вещества йодида серебра. | 2 |
| Определено, что количество вещества йодида серебра равно количеству вещества ионов серебра. | 2 |
| Рассчитано число ионов серебра. | 2 |
| Рассчитано количество противопожарных самолетов. | 2 |
| Итого | 10 |

Задача 2. (10 баллов)

Согласно легенде, свинцовый сурик был получен случайно в IV веке до н. э. После пожара в афинском порту на корабле, доставлявшем свинцовые белила, формула которых $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, в бочонках вместо белил оказалась ярко-красная краска, представляющая собой смесь оксидов свинца. До середины XX века свинцовый сурик использовался в живописи как краситель красного цвета, но сегодня практически не применяется художниками ввиду токсичности. Однако свинцовый сурик является сильным окислителем, поэтому на его основе производят антикоррозионные покрытия. Вступая в реакцию с железом, свинцовый сурик окисляет его с образованием плотной пленки черного цвета, которая не растворяется в воде и не пропускает кислород. Приведите химическую формулу свинцового сурика, если при его взаимодействии с разбавленной азотной кислотой растворяются только две трети всего свинца с образованием $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Составьте уравнения трех реакций, которые протекают при всех описанных выше превращениях.



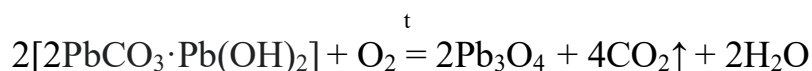
Решение:

Формула свинцового сурика: Pb_3O_4 или $2PbO \cdot PbO_2$ – смешанный оксид свинца (II) и (IV).

Реакция взаимодействия сурика с разбавленной азотной кислотой:



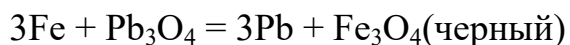
Уравнение реакции образования сурика из свинцовых белил



Уравнение реакции свинцового сурика с железом:



или



Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|--|------|
| Приведена формула свинцового сурика | 2 |
| Составлено уравнение реакции взаимодействия свинцового сурика с разбавленной азотной кислотой. | 2 |
| Составлено уравнение реакции образования свинцового сурика из свинцовых белил. | 4 |
| Составлено уравнение реакции свинцового сурика с железом. | 2 |
| Итого | 10 |

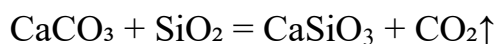
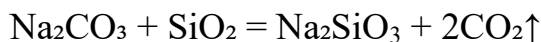


Задача 3. (10 баллов)

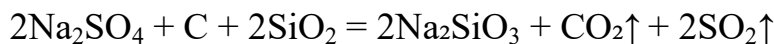
Стекло получают сплавлением смеси соды, известняка и избытка кварцевого песка. Часто соду заменяют сульфатом натрия и углем. Уголь восстанавливает сульфат натрия в сульфит натрия, который, вступая в реакцию с песком, образует силикат натрия. Стекло является довольно устойчивым материалом. Однако при продолжительном действии на стекло воды из него извлекается силикат натрия, и при добавлении фенолфталеина жидкость окрашивается в розовый цвет. В стеклянной посуде не рекомендуется хранить растворы щелочей и плавиковую кислоту. Составьте уравнения реакций, происходящих при получении стекла описанными способами и опишите химизм процессов, протекающих при действии на стекло воды, раствора щелочи и плавиковой кислоты.

Решение:

При сплавлении смеси соды, известняка и песка образуются силикаты натрия и кальция:



При замене соды сульфатом натрия и углем протекает реакция:



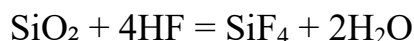
При продолжительном действии на стекло воды из него извлекается силикат натрия, который, подвергаясь гидролизу, сообщает раствору щелочную реакцию:



Щелочь взаимодействует с диоксидом кремния, входящим в состав стекла:

$$2\text{NaOH} + \text{SiO}_2 = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

Плавиковая кислота взаимодействует с диоксидом кремния, входящим в состав стекла:





Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|--|------|
| Составлены уравнения реакций образования силиката натрия и силиката кальция при варке стекла | 2 |
| Составлено уравнение реакции образования силиката натрия из сульфата натрия, угля и песка. | 2 |
| Написано уравнение гидролиза силиката натрия. | 2 |
| Написано уравнение реакции взаимодействия щелочи с диоксидом кремния. | 2 |
| Написано уравнение реакции взаимодействия плавиковой кислоты с диоксидом кремния. | 2 |
| Итого | 10 |

Задача 4. (15 баллов)

В медицинской технике, в стоматологии, травматологии и ортопедической хирургии применяются керамические протезы с добавлением оксида циркония (IV). Эти материалы на основе оксида алюминия и оксида циркония (IV) отличаются превосходной биосовместимостью, повышенной прочностью, устойчивостью к трещинам и износостойкостью. Обеспечивая оптимальные характеристики для медицинского применения, керамические протезы с добавлением диоксида циркония повышают качество жизни пациентов и облегчают процесс реабилитации. Рассчитайте, какие массы оксида алюминия и оксида циркония (IV) надо смешать для приготовления 1 кг керамического порошка, если массовая доля алюминия в нем должна быть выше массовой доли циркония в 2,146 раза.

Решение:

Пусть в 1 кг керамического порошка содержится x моль алюминия, тогда его масса будет равна $m(\text{Al}) = 27x$ г.

Пусть в 1 кг керамического порошка содержится y моль циркония, тогда его масса будет равна $m(\text{Zr}) = 91y$ г.

Получаем уравнение, выражающее отношение масс

$$m(\text{Al}) / m(\text{Zr}) = 27x/91y = 2,146 \quad (1)$$

Количество вещества оксида алюминия равно $0,5x$ моль. Молярная масса



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

оксида алюминия равна 102 г/моль . Следовательно, масса оксида алюминия масса равна $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \cdot 0,5x = 51x \text{ г}$.

Количество вещества диоксида циркония равно y моль. Молярная масса диоксида циркония равна 123 г/моль . Следовательно, масса оксида циркония будет равна $m(\text{ZrO}_2) = 123y \text{ г}$.

Уравнение, выражающее сумму масс оксидов:

$$51x + 123y = 1000 \quad (2)$$

Решая систему из двух полученных уравнений, находим

$$x = 14,70588 \text{ моль}, y = 2,003321 \text{ моль}$$

Тогда масса оксида алюминия будет равна

$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 14,70588/2 \cdot 102 \approx 750 \text{ (г)}$, а масса диоксида циркония $m(\text{ZrO}_2) = 123 \cdot 2,003321 \approx 250 \text{ (г)}$.

Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|--|------|
| Выражены массы алюминия и циркония, содержащиеся в 1 кг керамического порошка путем введения двух неизвестных. | 2 |
| Составлено уравнение, выражающее отношение масс алюминия и циркония в керамическом порошке. | 2 |
| С использованием первого неизвестного выражена масса оксида алюминия, содержащегося в керамическом порошке. | 2 |
| С использованием второго неизвестного выражена масса диоксида циркония, содержащегося в керамическом порошке. | 2 |
| Составлено уравнение, выражающее сумму масс оксидов металлов. | 2 |
| Решена система из двух уравнений с двумя неизвестными. | 2 |
| Рассчитана масса оксида алюминия. | 2 |
| Рассчитана масса диоксида циркония. | 1 |
| Итого | 15 |



Задача 5. (15 баллов)

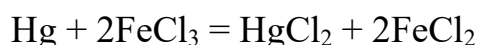
В комнате площадью 14 м^2 при высоте потолка $2,8 \text{ м}$ случайно разбили энергосберегающую лампочку, в которой содержалось 3 мг ртути. Во сколько раз в данной комнате будет превышена предельно допустимая концентрация ртути, составляющая $0,0003 \text{ мг/м}^3$, в случае полного испарения всей массы ртути? Достаточно ли будет использовать для связывания этой массы ртути 2 мл 20%-ного (по массе) водного раствора хлорида железа (III) плотностью $1,1816 \text{ г/мл}$? Напишите уравнение протекающей реакции. Какую массу гексагидрата хлорида железа (III) надо растворить в воде, чтобы получить требуемый объем этого раствора?

Решение:

Объем воздуха в комнате равен: $V = 14 \cdot 2,8 = 39,2 \text{ м}^3$.

Концентрация ртути в комнате будет равна $C(\text{Hg}) = m / V = 3 / 39,2 = 0,0765$ (мг/м^3), что превышает предельно допустимую концентрацию в $0,0765 / 0,0003 = 255$ раз.

Уравнение реакции взаимодействия ртути с хлоридом железа (III):



Количество вещества ртути, содержащейся в 3 мг ($0,003 \text{ г}$) равно $n(\text{Hg}) = m / M = 0,003 / 201 = 1,49 \cdot 10^{-5}$ (моль).

Для связывания этого количества ртути в соответствии с уравнением реакции потребуется следующее количество вещества хлорида железа (III)

$$n(\text{FeCl}_3) = 1,49 \cdot 10^{-5} \cdot 2 = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ (моль)}.$$

Количество вещества хлорида железа (III) в 20%-ном растворе объемом 2 мл растворе

$$n_2(\text{FeCl}_3) = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega / M = 2 \cdot 1,1816 \cdot 0,2 / 162,5 = 0,0029 \text{ (моль)},$$

что значительно превышает требуемое, поэтому данного раствора будет достаточно для связывания ртути.

Для приготовления раствора необходим гексагидрат хлорида железа (III) массой

$$m(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,0029 \cdot 270,5 = 0,7845 \text{ (г)}.$$



Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|---|------|
| Рассчитан объем воздуха в комнате. | 1 |
| Определена концентрация ртути в комнате. | 2 |
| Установлено, во сколько раз будет превышена предельно допустимая концентрация ртути. | 1 |
| Составлено уравнение реакции взаимодействия ртути с хлоридом железа (III). | 2 |
| Рассчитано количество вещества ртути. | 1 |
| Определено количество вещества хлорида железа (III), необходимое для связывания ртути. | 2 |
| Рассчитано количество вещества хлорида железа (III) в 2 мл 20%-ного раствора. | 2 |
| Установлено, что данного раствора будет достаточно для связывания ртути. | 2 |
| Рассчитана масса гексагидрата хлорида железа (III), необходимая для приготовления его раствора. | 2 |
| Итого | 15 |

Задача 6. (20 баллов)

В XIX веке оксид тория (IV) начали применять в производстве калильных сеток, позволяющих значительно увеличивать яркость освещения улиц газовыми фонарями за счет явления кандоллюминесценции – переноса энергии невидимой части спектра (инфракрасного излучения) в видимую. Сетка изготавливалась в виде колпака из оксида тория (IV), содержащего 1 % примеси оксида церия (IV), который, несмотря на малое количество, позволял сдвинуть излучаемый спектр в желтую сторону и сделать свет более ярким и приятным для глаз. Хлопковую ткань пропитывали соединениями тория и церия. Затем волокна ткани осторожно выжигали, а при последующем прокаливании остатка образовывались оксиды металлов. Рассчитайте, во сколько раз больше потребуется нитратов этих металлов по сравнению с их гидроксидами для изготовления калильной сетки одинаковой массы? Напишите уравнения реакций разложения этих соединений.

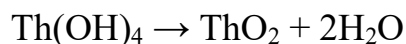
Решение:



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Уравнения реакций разложения нитратов и гидроксидов тория (IV) и церия

(IV):



Пусть количество вещества оксида тория (IV) в получаемой калильной сетке x моль, а количество вещества оксида церия (IV) y моль. Тогда масса ThO_2 равна $264x$, а масса CeO_2 равна $172y$.

Зная, что масса оксида церия (IV) составляет 1%, получаем выражение $264x = 172y \cdot 99$, откуда $x = 64,5y$.

Пусть $y = 1$ моль, тогда $x = 64,5$ моль.

Зная молярные массы нитратов, может определить массу их смеси

$$m_1 = 480 \cdot 64,5 + 388 = 31348 \text{ (г)}$$

Зная молярные массы гидроксидов, определим массу их смеси

$$m_2 = 300 \cdot 64,5 + 208 = 19558 \text{ (г)}$$

Тогда отношение массы нитратов к массе гидроксидов будет равно

$$m_1 / m_2 = 31348 / 19558 = 1,603.$$

Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|---|------|
| Составлены уравнения протекающих реакций (по 1 баллу за каждое уравнение) | 4 |
| Рассчитано соотношение между количеством вещества оксида тория и количеством вещества оксида церия в калильной сетке. | 4 |
| Определено количество вещества оксида тория (IV). | 1 |
| Определено количество вещества оксида церия (IV). | 1 |
| Рассчитана масса смеси нитратов. | 4 |
| Рассчитана масса смеси гидроксидов. | 4 |
| Установлено отношение массы нитратов к массе гидроксидов. | 2 |
| Итого | 20 |

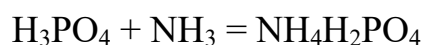


Задача 7. (20 баллов)

При производстве сложного комплексного удобрения одну соль из его состава получают в результате взаимодействия эквимольного количества вещества фосфорной кислоты и аммиака, вторую – из азотной кислоты и аммиака, а третью соль – хлорид калия – примешивают к первым двум непосредственно при получении гранул удобрения. Рассчитайте массу каждой соли в 1 т этого удобрения, если таких необходимых для растений элементов как калий в пересчете на K_2O , фосфор в пересчете на P_2O_5 , и азот содержится примерно по 18,18 % от массы удобрения. Какой объем аммиака (при н. у.) потребуется для получения этой массы удобрения? Напишите уравнения описанных реакций, протекающих при получении компонентов удобрения.

Решение:

Уравнения реакций:



Масса оксида калия в 1 т удобрения

$$m(K_2O) = 181,8 \text{ кг}$$

Тогда с учетом молярных масс масса калия будет равна

$$m(K) = 78 \cdot 181,8 / 94 = 150,855 \text{ (кг)}$$

Эта масса калия содержится в хлориде калия массой

$$m(KCl) = 74,5 \cdot 150,855 / 39 = 288,172 \approx 288,2 \text{ (кг)}$$

Масса оксида фосфора (V) в 1 т удобрения

$$m(P_2O_5) = 181,8 \text{ кг}$$

Тогда с учетом молярных масс масса фосфора будет равна

$$m(P) = 62 \cdot 181,8 / 142 = 79,377 \text{ (кг)}.$$

Эта масса фосфора содержится в дигидрофосфате аммония массой

$$m(NH_4H_2PO_4) = 115 \cdot 79,377 / 31 = 294,463 \approx 294,5 \text{ (кг)}$$

Масса азота в дигидрофосфате аммония будет равна

$$m_1(N) = 294,463 \cdot 14 / 115 = 35,848 \text{ (кг)}$$

Тогда масса азота в нитрате аммония



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

$$m_2(\text{N}) = 181,8 - 35,848 = 145,952 \text{ (кг)}$$

Масса нитрата аммония будет равна

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 145,952 \cdot 80 / 28 = 417,006 \approx 417,0 \text{ (кг)}$$

Общая масса солей равна $288,2 + 294,5 + 417,0 = 999,7$ кг.

Для определения объема аммиака определим количество вещества дигидрофосфата аммония и нитрата аммония

$$n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = m / M = 294,463 \cdot 10^3 / 115 = 2560,55 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = m / M = 417,006 \cdot 10^3 / 80 = 5212,58 \text{ (моль)}$$

Тогда объем аммиака будет определяться как

$$V(\text{NH}_3) = (n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + n(\text{NH}_4\text{NO}_3)) \cdot V_m = (2560,55 + 5212,58) \cdot 22,4 = 7773,13 \cdot 22,4 = 174118,112 \text{ л или } \approx 174,12 \text{ м}^3.$$

Критерии оценивания

| Элемент решения | Балл |
|--|------|
| Составлено уравнение реакции получения дигидрофосфата аммония. | 1 |
| Составлено уравнение реакции получения нитрата аммония. | 1 |
| Определена масса оксида калия в 1 т удобрения. | 1 |
| Рассчитана масса калия в 1 т удобрения. | 2 |
| Определена масса хлорида калия. | 2 |
| Рассчитана масса оксида фосфора (V). | 1 |
| Установлена масса фосфора в 1 т удобрения. | 2 |
| Рассчитана масса дигидрофосфата аммония в 1 т удобрения. | 2 |
| Определена масса азота в дигидрофосфате аммония. | 2 |
| Установлена масса азота в нитрате аммония. | 1 |
| Рассчитана масса нитрата аммония. | 1 |
| Определено количество вещества дигидрофосфата аммония. | 1 |
| Рассчитано количество вещества нитрата аммония. | 1 |
| Определен объем аммиака. | 2 |
| Итого | 20 |