



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Химия»

Классы участия: 8-9

Вариант задания: 2

Задача 1. (10 баллов)

Для вызова дождей в жарких и сухих регионах нашей планеты используются нанокристаллы хлорида натрия, которые направляют в облака. Эти гигроскопичные затравки поглощают мельчайшие капли воды, собирают их вместе и стимулируют выпадение осадков. Сколько молекул воды может собрать одна наночастица хлорида натрия, если при этом образуется капля, содержащая 0,05 г воды? В каких пределах удастся получить дополнительный объем воды в год в виде дождя, если благодаря проведению операций по засеву облаков количество осадков увеличивается на 5-25 %, а ежегодно выпадает 6,7 млрд м³ осадков? Рассчитайте, сколько наночастиц хлорида натрия потребуется для образования 1 т воды?

Решение:

Определяем количество вещества воды в одной капле

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m / M = 0,05 / 18 = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ (моль).}$$

Зная, что в 1 моль вещества содержится $6,02214076 \cdot 10^{23}$ структурных элементов, определяем число молекул воды в капле:

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} = 1,674 \cdot 10^{21}$$

Дополнительный объем воды при увеличении осадков на 5 % составит

$$V_1(\text{H}_2\text{O}) = 6,7 \cdot 10^9 \cdot 0,05 = 3,35 \cdot 10^8 \text{ (м}^3\text{).}$$

Дополнительный объем воды при увеличении осадков на 25 % составит

$$V_2(\text{H}_2\text{O}) = 6,7 \cdot 10^9 \cdot 0,25 = 1,675 \cdot 10^9 \text{ (м}^3\text{).}$$

Количество наночастиц хлорида натрия, необходимое для образования 1 т воды составляет $1000000 / 0,05 = 2 \cdot 10^7$.



Критерии оценивания

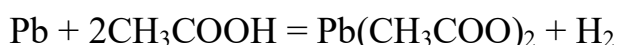
Элемент решения	Балл
Определено количество вещества воды.	2
Рассчитано число молекул воды.	2
Определен дополнительный объем воды при увеличении осадков на 5 %.	2
Определен дополнительный объем воды при увеличении осадков на 25 %.	2
Рассчитано число наночастиц хлорида натрия, необходимое для образования 1 т воды.	2
Итого	10

Задача 2. (10 баллов)

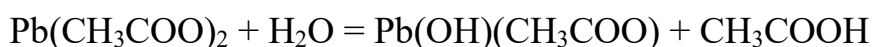
На гербе города Кашин Тверской области изображены три ступки с белилами, которые производились в этом городе с конца XVI века. Какие реакции лежали в основе технологии получения кашинских белил, имеющих формулу $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, если тонкие свинцовые пластинки помещали в ступки с уксусной кислотой, под действием паров которой при нагревании образовывалась соль, вступающая в реакцию гидролиза, а его продукт реагировал с углекислым газом? Недостаток свинцовых белил – постепенное потемнение окрашенных предметов на воздухе, содержащем следы H_2S , вследствие перехода белого основного карбоната в черный сульфид свинца (II). Напишите уравнение реакции, отражающей химизм этого процесса.

Решение:

Растворение свинца в уксусной кислоте:



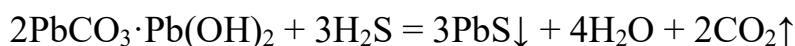
Гидролиз ацетата свинца:



Взаимодействие основного карбоната свинца с углекислым газом:



Взаимодействие свинцовых белил с сероводородом:





Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Составлено уравнение реакции свинца с уксусной кислотой.	2
Составлено уравнение реакции гидролиза ацетата свинца.	2
Составлено уравнение реакции основного ацетата свинца с углекислым газом.	4
Составлено уравнение реакции свинцовых белил с сероводородом.	2
Итого	10

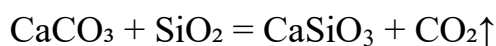
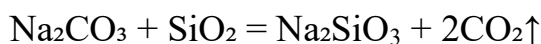


Задача 3. (10 баллов)

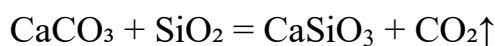
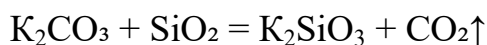
Сырьем для производства обычного стекла служат чистый кварцевый песок, сода и известняк. Эти вещества тщательно перемешивают и подвергают сильному нагреванию (1500 °С). Если при варке стекла заменить соду поташом, то получается тугоплавкое стекло, используемое для изготовления химической посуды. При сплавлении песка с поташом и оксидом свинца (II) получается тяжелое стекло, называемое хрусталем. А при замене в составе обычного стекла части диоксида кремния борным ангидридом получают стекла, отличающиеся стойкостью к химическим взаимодействиям и резким изменениям температуры. Из таких стекол изготавливают высококачественную химическую посуду и сосуды для промышленного проведения химических процессов. Составьте уравнения реакций, происходящих при получении каждого из четырех описанных видов стекол.

Решение:

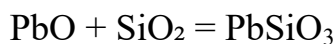
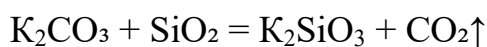
При сплавлении смеси соды, известняка и песка образуются силикаты натрия и кальция:



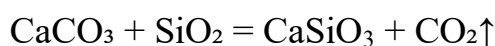
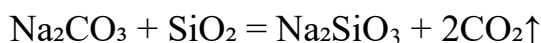
При замене соды поташом в составе стекла образуются силикаты калия и кальция:



Если в качестве сырья берут поташ, оксид свинца и песок, то получается стекло, содержащее силикаты калия и свинца:

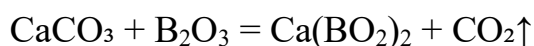
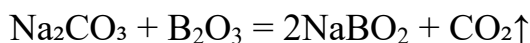


При замене части песка на оксид бора при варке стекла происходят реакции образования силикатов и метаборатов:





ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»



Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Составлены уравнения реакций образования силиката натрия и силиката кальция при варке обычного стекла.	2
Составлены уравнения реакций образования силиката калия и силиката кальция при варке тугоплавкого стекла.	2
Составлены уравнения реакций образования силиката калия и силиката свинца при получении хрусталя.	2
Составлены уравнения реакций образования силикатов при варке высококачественного химического стекла.	2
Составлены уравнения реакций образования метаборатов при варке высококачественного химического стекла.	2
Итого	10

Задача 4. (15 баллов)

Керамические протезы на основе оксида алюминия с добавлением оксида циркония (IV) отличаются высокими механическими свойствами, биосовместимостью, хорошими оптическими свойствами. В настоящее время они успешно применяются в стоматологии (протезирование зубов, изготовление виниров и коронок), ортопедии (эндопротезирование коленных и тазобедренных суставов), кардиохирургии (изготовление искусственных сердечных клапанов и сосудистых стентов). Рассчитайте, в каком массовом соотношении содержатся оксид алюминия и диоксид циркония в керамическом материале для протезов, если массовая доля алюминия в смеси составляет 39,7 %? Во сколько раз массовая доля алюминия в нем выше массовой доли циркония?

Решение:

Пусть масса смеси оксидов равна 1000 г.

Определяем массу алюминия в ней: $m(\text{Al}) = 1000 \cdot 0,397 = 397$ (г).

С учетом молярных масс алюминия и его оксида массовая доля алюминия в оксиде алюминия равна $54/102 = 0,52941$.

Тогда масса оксида алюминия будет равна



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 397 / 0,52941 = 749,89 \text{ (г)}$$

Масса оксида циркония (IV) в 1000 г керамического порошка равна

$$m(\text{ZrO}_2) = 1000 - 749,89 = 250,11 \text{ (г)}$$

Массовое соотношение оксида алюминия и оксида циркония (IV) в смеси равно $749,89:250,11 = 2,9998:1 \approx 3:1$.

С учетом молярных масс циркония и его оксида массовая доля циркония в оксиде циркония равна (IV) равна $91 / 123 = 0,73984$.

Масса циркония в смеси равна $250,11 \cdot 0,73984 = 185,041 \text{ г}$, а массовая доля – 18,5 %

Отношение массовых долей алюминия и циркония в смеси равно:

$$39,7 : 18,5 = 2,1459 \approx 2,146.$$

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Определена масса алюминия в выбранной для расчетов массе керамического порошка.	2
Рассчитана массовая доля алюминия в оксиде алюминия.	2
Рассчитана масса оксида алюминия в керамическом порошке.	2
Рассчитана масса оксида циркония (IV) в керамическом порошке.	2
Определено массовое соотношение оксида алюминия и оксида циркония.	2
Определена массовая доля циркония в оксиде циркония.	2
Рассчитана массовая доля циркония в керамическом порошке.	2
Рассчитано отношение массовых долей алюминия и циркония в керамическом порошке.	1
Итого	15



Задача 5. (15 баллов)

Во сколько раз в воздухе будет превышена предельно допустимая концентрация ртути, составляющая $0,0003 \text{ мг/м}^3$, если в комнате площадью 16 м^2 при высоте потолка 3 м испарится вся ртуть из разбившегося термометра, содержащего 1 г ртути? Известно, что для удаления ртути можно использовать раствор перманганата калия, подкисленный соляной кислотой. Свободный хлор, выделяющийся при взаимодействии перманганата калия с соляной кислотой, реагирует с ртутью с образованием хлоридов ртути. Напишите уравнения протекающих реакций. Рассчитайте, хватит ли состава, образующегося при смешивании 1 л $0,5\%$ -ного водного раствора перманганата калия плотностью $1,0017 \text{ г/мл}$, и 5 мл 36% -ного раствора соляной кислоты плотностью $1,179 \text{ г/мл}$, для полного связывания 1 г ртути?

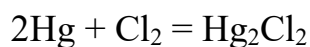
Решение:

Объем воздуха в комнате равен: $V = 16 \cdot 3,0 = 48,0 \text{ м}^3$.

Концентрация ртути в воздухе комнаты будет равна

$C(\text{Hg}) = m / V = 1000 / 48,0 = 20,83 \text{ (мг/м}^3\text{)}$, что превышает предельно допустимую концентрацию в $20,83 / 0,0003 = 69433$ раза.

Уравнения реакций, протекающих при обезвреживании ртути:



Определяем количество вещества ртути, содержащейся в 1 г

$$n(\text{Hg}) = m / M = 1 / 201 = 0,00498 \approx 0,005 \text{ (моль)}.$$

Для связывания этого количества ртути потребуется хлора

$$n_1(\text{Cl}_2) = 0,005 / 2 = 0,0025 \text{ (моль)}$$

Количество вещества перманганата калия в растворе равно

$$n(\text{KMnO}_4) = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega / M = 1000 \cdot 1,0017 \cdot 0,005 / 158 = 0,0317 \text{ (моль)}.$$

Количество вещества соляной кислоты в растворе

$$n(\text{HCl}) = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega / M = 5 \cdot 1,179 \cdot 0,36 / 36,5 = 0,0581 \text{ (моль)}$$

Соляная кислота находится в недостатке, поэтому количество вещества образующегося хлора определяем по пропорции с ней:



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

$$n_2(\text{Cl}_2) = 0,0581 \cdot 5/16 = 0,018 \text{ (моль)}$$

Это количество вещества хлора превышает требуемое, поэтому его будет достаточно для связывания ртути.

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Рассчитан объем воздуха в комнате.	1
Определена концентрация ртути в воздухе.	2
Установлено, во сколько раз будет превышена предельно допустимая концентрация ртути.	1
Составлены уравнения реакций (по 1 баллу за каждую реакцию).	2
Рассчитано количество вещества ртути.	1
Определено количество вещества хлора, необходимого для связывания ртути.	2
Рассчитано количество вещества перманганата калия в растворе.	2
Определено количество вещества соляной кислоты в растворе и установлено, что она в недостатке.	2
Рассчитано количество вещества образующегося хлора и сделан вывод о том, что его будет достаточно для связывания ртути.	2
Итого	15

Задача 6. (20 баллов)

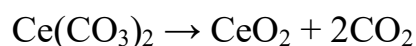
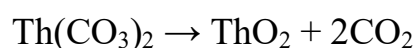
В XIX веке оксид тория (IV) начали применять в производстве калильных сеток, позволяющих значительно увеличивать яркость освещения улиц газовыми фонарями за счет явления кандалюминесценции – переноса энергии невидимой части спектра (инфракрасного излучения) в видимую. Сетка изготавливалась в виде колпака 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 карбонатами для изготовления калильной сетки одинаковой массы? Напишите уравнения реакций разложения этих соединений.

Решение:

Уравнения реакций разложения нитратов и карбонатов 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

$$264x = 172y \cdot 99, \text{ откуда } x = 64,5y.$$

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

Зная молярные массы нитратов, может определить массу их смеси

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

И зная молярные массы карбонатов, определим их массу

$$m_2 = 352 \cdot 64,5 + 260 = 22964 \text{ (г)}$$

Определим, во сколько раз масса сырья в виде нитратов будет больше массы карбонатов

$$m_1 / m_2 = 31348 / 22964 = 1,365$$



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

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 карбонатов.	4
Установлено отношение массы нитратов к массе карбонатов.	2
Итого	20

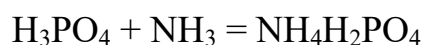


Задача 7. (20 баллов)

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