

8 класс

1. В формульной единице кристаллогидрата нитрата меди каждый 2 атом – атом кислорода. Установите состав кристаллогидрата. Определите массовую долю воды в кристаллогидрате. (5 баллов)

Решение:

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 2 балла. $\omega = \frac{3 \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})} \cdot 100\% = 22,31\%$ – 3 балла. Всего 5 баллов.

2. Массовая доля кислорода в оксиде составляет 47%, определите этот оксид. (5 баллов)

Решение:

Любой оксид можно представить в виде $\text{Э}_x\text{O}_y$, тогда можно составить отношение $x:y = (53/\text{A}_\text{Э}):(47/16)$, из чего вытекает, что $\text{A}_\text{Э} = 18y/x$ (2 балла). Примем x за 2 (самая распространенная степень окисления кислорода), тогда уравнение упростится до $\text{A}_\text{Э} = 9y$, при этом y должен соответствовать степени окисления неизвестного элемента. При $y = 3$ получаем $\text{A}_\text{Э} = 27$, что хорошо сходится с алюминием. Остальные значения дают либо неподходящие атомные массы, либо несоответствующие валентности. Ответ: Al_2O_3 (3 балла). (За формулу без рассуждения ставилось 3 балла)

3. В составе вещества А есть только азот и водород. При нагревании 3,2 г вещества А разложение протекает без образования твердого остатка. При пропускании полученной газовой смеси через серную кислоту объем уменьшается в 2 раза. Неабсорбированный газ, представляющий собой смесь водорода и азота, при н. у. занимает объем 2,24 л и имеет плотность 0,670 г/л. Определите химическую формулу соединения А. (20 баллов)

Решение:

Масса и молярная масса газовой смеси $m(\text{смеси}) = 2,24 \cdot 0,67 = 1,5$ г; $M(\text{смеси}) = 22,4 \cdot 0,67 = 15$ г/моль (по 2 балла, всего 4 балла).

$M(\text{смеси}) = 28 \cdot x + 2 \cdot (1-x) = 15$, количество азота $n(\text{N}_2) = 0,5$ моль; $n(\text{H}_2) = 0,5$ моль (4 балла).

Кислота поглотила $m(\text{погл}) = 3,2 - 1,5 = 1,7$ г, $V(\text{погл}) = 2,24$ л, $V(\text{общий}) = 4,48$ л (4 балла).

$M(\text{погл}) = 22,4 \cdot (1,7/2,24) = 17$ г/моль, соответствует аммиаку (2 балла).

$n(\text{NH}_3) = 1$ моль. $n(\text{NH}_3):n(\text{N}_2):n(\text{H}_2) = 1:0,5:0,5 = 2:1:1$ (2 балла), следовательно $n(\text{N}):n(\text{H}) = 4:8 = 1:2$ (2 балла), исходное соединение гидразин N_2H_4 (2 балла). Всего 20 баллов.

4. Если нагреть кристаллы белого цвета (вещество А), то образуется газ (Б), который поддерживает горение, а также остается белый остаток (В). После растворения остатка в воде и добавления нитрата серебра образуется белый осадок (Г). Смесь вещества А и красного фосфора воспламеняется при трении с образованием В и Д. Определите формулы веществ А, Б, В, Г и Д. Рассчитайте массу вещества А, необходимую для получения газа Б в количестве, достаточном для полного сгорания 4,48 л сероводорода? Привести уравнения всех описанных реакций. (20 баллов)

Решение:

А – KClO_3 ; Б – O_2 ; В – KCl ; Г – AgCl ; Д – P_2O_5 (по 2 балла за формулу).

$2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$; (2 балла)

$\text{KCl} + \text{AgNO}_3 = \text{AgCl} \downarrow + \text{KNO}_3$; (2 балла)

$6\text{P} + 5\text{KClO}_3 = 3\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{KCl}$ (можно с образованием P_4O_{10}) (2 балла).

$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$ (1 балл).

$n(\text{H}_2\text{S}) = 4,48/22,4 = 0,2$ моль; $n(\text{O}_2) = 0,3$ моль; $n(\text{KClO}_3) = 0,2$ моль (1 балл).

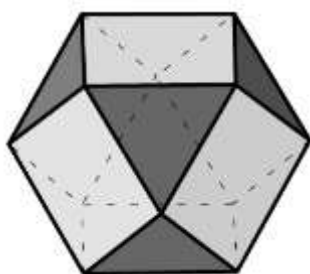
$m(\text{KClO}_3) = 0,2 \cdot 122,5 = 24,5$ г (2 балла). Всего 20 баллов.

5. В 100 г воды полностью растворили $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ и пропустили через раствор избыток углекислого газа. В результате выпало 10,5 г осадка, а из раствора выделялся газ с плотностью по водороду 32. Вычислите массу исходной соли (ответ округлите до десятых), если растворимость выпавшего осадка – 9,6 г/100 мл. Растворимостью газов пренебречь, плотность воды считать равной 1 г/мл. (20 баллов)

Решение:

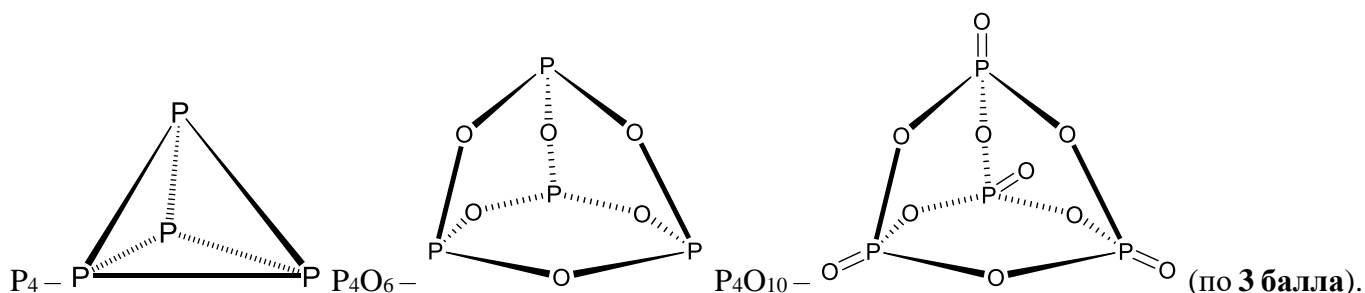
При растворении $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (метабисульфит или пиросульфит натрия) происходит его гидролиз по уравнению: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHSO}_3$ (**2 балла**). Пропускание углекислого газа через раствор приводит к образованию угольной кислоты, вытесняющей сернистую из её соли, причем последняя тут же разлагается. Суммарное уравнение: $\text{NaHSO}_3 + \text{CO}_2 = \text{NaHCO}_3 + \text{SO}_2$ (**2 балла**). Средний карбонат в избытке кислотных оксидов образовываться не будет. Плотность по водороду выделяющегося газа – дополнительная подсказка о промежуточном образовании бисульфита. Образование осадка происходит в результате пересыщения раствора гидрокарбонатом натрия (**1 балл**), тогда общее его количество можно получить при суммировании растворенной и нерастворенной части. Для нахождения количества растворенного NaHCO_3 необходимо вычислить количество воды в конце реакций, оно уменьшилось в результате взаимодействия с пиросульфитом (**3 балла**). Обозначим массу исходной соли за x , тогда масса прореагировавшей воды $18x/190$ г (**2 балла**). Масса растворенного гидрокарбоната равна $9,6(1 - 0,000947x)$ г (**1 балл**), тогда суммарная его масса составляет $(20,1 - 0,00909x)$ г (**2 балла**). Количество гидрокарбоната в два раза больше пиросульфита (по стехиометрии), тогда получим конечное уравнение $x = 190(20,1 - 0,00909x)/(2 \cdot 84)$ (**3 балла**). Ответ 22,5 г (**4 балла**).

б. Фосфор существует в нескольких аллотропных модификациях, одна из которых, белый фосфор, P_4 , состоит из молекул с тетраэдрической структурой. Нарисуйте структуру молекулы P_4 , показав все химические связи. Белый фосфор самовозгорается на воздухе с образованием смеси оксида фосфора (III) и оксида фосфора (V). Напишите уравнения этих реакций. Структура каждого оксида также основана на правильном тетраэдре. Атомы фосфора остаются в вершинах, но больше не связаны друг с другом, а соединены мостиковыми атомами кислорода. Оксид фосфора (V), кроме того, имеет дополнительный атом кислорода, связанный с каждым атомом фосфора в вершинах тетраэдра. Нарисуйте структуру оксидов фосфора.



Количественный метод определения содержания фосфатов в водном растворе включает добавление молибдата аммония, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, с образованием осадка молибдофосфата аммония. Структура этого твердого вещества основана на кубооктаэдре (показан выше). Атомы молибдена лежат в каждой вершине кубооктаэдра, и они соединены друг с другом атомами кислорода по каждому ребру. Еще один атом кислорода присоединяется к каждой вершине. Фосфат при этом лежит во внутренней полости, координируясь каждым атомом кислорода сразу на три атома молибдена. Рассчитайте степень окисления молибдена в молибдате аммония. Учтите, что ни один атом не меняет свою степень окисления при образовании молибдофосфата аммония, рассчитайте общую формулу молибдофосфата аммония. (**30 баллов**)

Решение:



Реакции окисления: $\text{P}_4 + 3\text{O}_2 = \text{P}_4\text{O}_6$ или $\text{P}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_3$; $\text{P}_4 + 5\text{O}_2 = \text{P}_4\text{O}_{10}$ или $\text{P}_4 + 5\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5$ (по **2 балла**). Степень окисления молибдена в молибдате: +6 (**2 балла**). В кубооктаэдре 12 вершин, значит атомов молибдена тоже 12 (**2 балла**), ребер – 24 (**2 балла**), значит кислородов 36 (ребра + вершины) (**2 балла**). В фосфате 4 кислорода, которые должны координироваться на 12 атомов молибдена, то есть внутри кубооктаэдра помещается один фосфат-ион. Таким образом, общая формула описанной частицы – $(\text{PO}_4)\text{Mo}_{12}\text{O}_{36}$ (**3 балла**). Рассчитаем её заряд, для этого просуммируем все степени окисления:

$$+5 + 4 \cdot (-2) + 12 \cdot (+6) + 36 \cdot (-2) = -3 \text{ (3 балла)}$$

Значит общая формула будет $(\text{NH}_4)_3(\text{PO}_4)\text{Mo}_{12}\text{O}_{36}$ или $(\text{NH}_4)_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ (**3 балла**).

9 класс

1. Иодид меди (+1) взаимодействует с перманганатом калия в сернокислой среде. Напишите продукты взаимодействия, расставьте коэффициенты. (5 баллов)

Решение:

$10\text{CuI} + 4\text{KMnO}_4 + 16\text{H}_2\text{SO}_4 = 10\text{CuSO}_4 + 4\text{MnSO}_4 + 5\text{I}_2 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 16\text{H}_2\text{O}$ (5 баллов); Ошибка в коэффициентах 4 балла; Указаны только продукты 2 балла.

2. Напишите формулы пяти соединений, содержащих суммарно 28 протонов. (5 баллов)

Решение:

Задание решается простым перебором. Легче всего рассматривать двухатомные соединения, в таком случае первая химически разумная формула будет CaO. Далее можно уменьшать номер одного элемента и увеличивать другого: KF, NaCl, MgS, AlP. Примером многоатомной молекулы может быть C₄H₄ (пропин), KOH, NH₄Cl. (Каждый верный пример по 1 баллу)

3. Для приготовления растворов можно использовать как безводные вещества, например, сульфат лития Li₂SO₄ или нитрат натрия NaNO₃, так и их кристаллогидраты, например, гептагидрат сульфата магния MgSO₄·7H₂O или тригидрат ацетата свинца Pb(CH₃COO)₂·3H₂O.

а) Какие тривиальные названия имеют указанные кристаллогидраты?

б) Какое количество воды (в молях) содержится в 600 г раствора сульфата магния с массовой долей MgSO₄ 1,5 %?

в) Какую массу сульфата лития необходимо растворить в 240 мл воды, чтобы получить 5 %-ный (по массе) раствор Li₂SO₄?

г) Чему равна массовая доля нитрата натрия в растворе, полученном смешиванием 100 г 35 %-ного (по массе) раствора и 150 г 5 %-ного (по массе) раствора NaNO₃?

д) Какую массу 10 %-ного (по массе) раствора сульфата лития необходимо прибавить к 1 кг 37 %-ного (по массе) раствора Li₂SO₄, чтобы получить 18 %-ный (по массе) раствор?

е) Раствор с какой массовой долей получится, если в 100 г раствора ацетата свинца с массовой долей 8,0 % растворить тригидрат ацетата свинца массой 6 г?

ж) Рассчитайте, какую массу гептагидрата сульфата магния необходимо растворить в 170 мл воды, чтобы получить раствор с массовой долей MgSO₄ 4,3 %.

(20 баллов)

Решение:

а) Гептагидрат сульфата магния – английская соль или горькая соль или магнезия или горькозем или эпсомская соль (1 балл за любое из названий и за любое сочетание нескольких названий); тригидрат ацетата свинца – свинцовый сахар (1 балл).

б) $m(\text{MgSO}_4) = \frac{1,5 \cdot 600}{100} = 9 \text{ г}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 591 \text{ г}$; $n(\text{H}_2\text{O}) = 32,8 \text{ моль}$ (2 балла)

в) $5 = \frac{x}{240+x} \cdot 100$; $x = 12,6 \text{ г}$ (2 балла)

г) $\omega = \frac{100 \cdot 0,35 + 150 \cdot 0,05}{100+150} \cdot 100 = 17\%$ (3 балла)

д) $18 = \frac{1000 \cdot 0,37 + 0,1 \cdot x}{1000+x} \cdot 100$; $x = 2375 \text{ г} = 2,38 \text{ кг}$ (3 балла любой ответ)

е) $\omega = \frac{100 \cdot 0,6 + 6 \cdot \frac{325}{379}}{100+6} \cdot 100 = 12,4\%$ (4 балла)

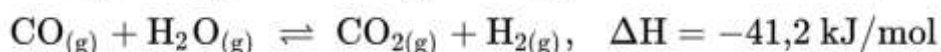
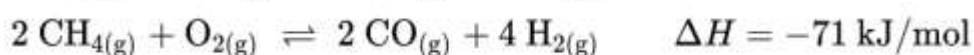
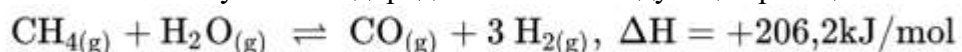
ж) $4,3 = \frac{m \cdot \frac{120}{246}}{170+m} \cdot 100$; $m = 16,4 \text{ г}$ (4 балла)

4. В 100 г воды полностью растворили Na₂S₂O₅ и пропустили через раствор избыток углекислого газа. В результате выпало 10,5 г осадка. Вычислите массу исходной соли (ответ округлите до десятых), если растворимость выпавшего осадка – 9,6 г/100 мл. Растворимостью газов пренебречь, плотность воды считать равной 1 г/мл. Конечную смесь кипятили с обратным холодильником, при этом осадок растворился и не выпал при охлаждении. Какой процесс произошел? Рассчитайте массовую долю конечного раствора. (20 баллов)

Решение:

При растворении $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (метабисульфит или пиросульфит натрия) происходит его гидролиз по уравнению: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHSO}_3$ (**2 балла**). Пропускание углекислого газа через раствор приводит к образованию угольной кислоты, вытесняющей сернистую из её соли, причем последняя тут же разлагается. Суммарное уравнение: $\text{NaHSO}_3 + \text{CO}_2 = \text{NaHCO}_3 + \text{SO}_2$ (**2 балла**). Средний карбонат в избытке кислотных оксидов образовываться не будет. Образование осадка происходит в результате пересыщения раствора гидрокарбонатом натрия, тогда общее его количество можно получить при суммировании растворенной и нерастворенной части. Для нахождения количества растворенного NaHCO_3 необходимо вычислить количество воды в конце реакций, оно уменьшилось в результате взаимодействия с пиросульфитом (**2 балла**). Обозначим массу исходной соли за x , тогда масса прореагировавшей воды $18x/190$ г (**2 балла**). Масса растворенного гидрокарбоната равна $9,6(1 - 0,000947x)$ г (**1 балл**), тогда суммарная его масса составляет $(20,1 - 0,00909x)$ г (**2 балла**). Количество гидрокарбоната в два раза больше пиросульфита (по стехиометрии), тогда получим конечное уравнение $x = 190(20,1 - 0,00909x)/(2 \cdot 84)$ (**2 балла**). Масса исходной соли $22,5$ г (**2 балла**). При кипячении раствора гидрокарбоната происходит его разложение с образованием карбоната: $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (**2 балла**). Обратный холодильник позволяет улетать углекислому газу, но задерживает воду, поэтому объем воды в конце составит опять 100 мл (**1 балл**). Количество вещества карбоната соответствует начальному количеству пиросульфита, тогда масса карбоната равна $22,5 \cdot 106/190 = 12,55$ г, а его массовая доля $11,2\%$ (**2 балла**).

5. Технологическая схема получения водорода включает следующие реакции:



Примем, что тепло экзотермических стадий используется со средней эффективностью 70% , тепловой баланс для поддержания стационарности процесса должен быть нулевым, а единственным побочным продуктом должен быть углекислый газ. Рассчитайте полный расход метана и выделение углекислого газа в кг на 1 кг водорода. (**20 баллов**)

Решение:

Для решения задачи необходимо вычислить баланс процессов, входящих в схему получения водорода. Для того, чтобы единственным побочным продуктом был углекислый газ, надо весь CO из реакций (1) и (2) конвертировать по реакции (3), или по-другому, производительность третьего процесса в моль/с должна равняться сумме производительности первого и удвоенного второго (**3 балла**). Для теплового баланса мы должны приравнять затраты энергии по реакции (1) к сумме выделяющейся энергии реакций (2) и (3), домноженной на $0,7$ (**3 балла**). Возьмем некоторый интервал времени, за который потрачено 1 моль кислорода и рассчитаем, какие количества других реагентов при этом израсходуются. Для этого обозначим коэффициенты при CO в первой и третьей реакции за x и y соответственно. Тогда можно составить систему:

$$\begin{cases} y = x + 2 \\ 206,2x = 0,7(71 + 41,2y) \end{cases}, \text{ решая которую получаем } \begin{cases} x = 0,6 \\ y = 2,6 \end{cases} \text{ (6 баллов).}$$

Суммарное уравнение всей технологической схемы можно получить, просуммировав все уравнения с учетом найденных коэффициентов: $2,6\text{CH}_4 + 3,2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 2,6\text{CO}_2 + 9,6\text{H}_2$ (**3 балла**). Отсюда выразим относительные массы метана и углекислого газа:

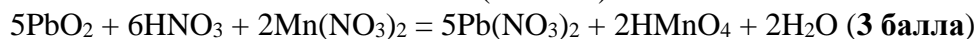
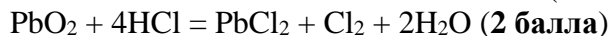
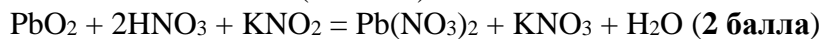
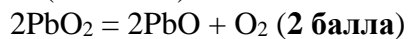
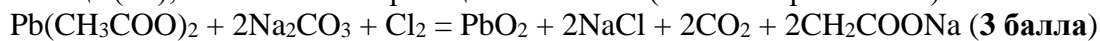
$$m(\text{CH}_4) = (1 \cdot 2,6 \cdot 16) : (9,6 \cdot 2) = 2,17 \text{ (кг)} \quad m(\text{CO}_2) = (1 \cdot 2,6 \cdot 44) : (9,6 \cdot 2) = 5,96 \text{ (кг)} \text{ (по 2,5 балла).}$$

6. Вещество **А** может быть получено из $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$, к раствору которого приливают раствор соды и через смесь пропускают газообразный хлор. Вещество **А** при нагревании разлагается на оксид **Б** и газ **В**. Вещество **А** реагирует с оксидом серы (+4) с образованием соединения **Г**. Вещество **А** нерастворимо в воде и кислотах, но растворяется в смеси азотной кислоты и нитрита калия. При нагревании **А** с концентрированной серной кислотой образуется соединение **Д** и газ **В**, с концентрированной соляной кислотой – соединение **Е** и хлор. При нагревании **А** с азотнокислым раствором нитрата марганца (+2) жидкость окрашивается в фиолетовый цвет из-за образования

соединения **Ж**. Установите формулы веществ **А–Ж** и назовите их. Напишите уравнения реакций. **(30 баллов)**

Решение:

Формула **1 балл**, название **1 балл**. А – PbO_2 оксид свинца (+4); Б – PbO оксид свинца (+2); В – O_2 кислород; Г – PbSO_4 сульфат свинца (+2); Д – PbSO_4 сульфат свинца (+2); Е – PbCl_2 хлорид свинца (+2); Ж – HMnO_4 марганцевая кислота (можно перманганат). – **14 баллов**



10 класс

1. В смеси пиролюзита и оксида железа (+3) массовая доля железа составляет 25 %. Какова массовая доля марганца в этой смеси? (5 баллов)

Решение:

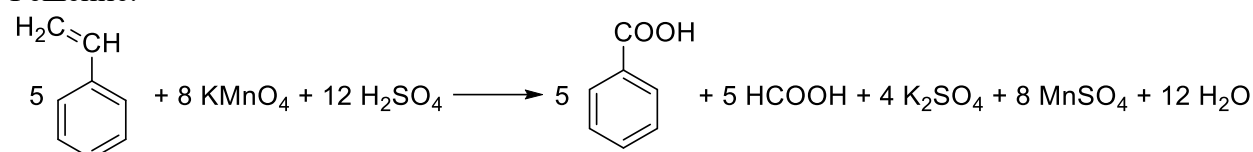
Пусть $m(\text{смеси}) = 100$ г, тогда $m(\text{Fe}) = 25$ г. $n(\text{Fe}) = 25/56 = 0,446$ моль, $n(\text{O}) = 0,669$ моль (1 балл).

$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 35,7$ г. $m(\text{MnO}_2) = 64,3$ г, $n(\text{MnO}_2) = 64,3/87 = 0,739$ моль = $n(\text{Mn})$ (1 балл).

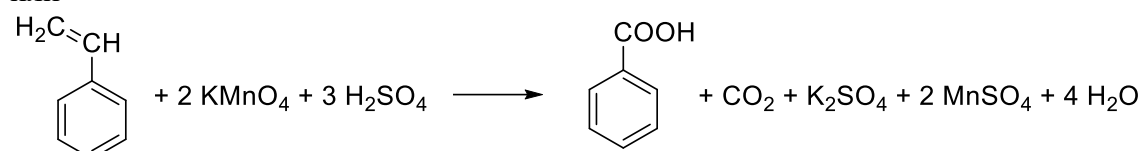
$m(\text{Mn}) = 0,739 \cdot 55 = 40,65$ г (1 балл). $\omega(\text{Mn}) = 40,65\%$ (2 балла).

2. Напишите уравнение окисления стирола (винилбензола) перманганатом калия в кислой среде. (5 баллов)

Решение:



или



3. Гидроксид натрия при хранении в открытом сосуде загрязняется вследствие реакции с углекислым газом. Качество гидроксида натрия проверяют титрованием хлороводородной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеин и метиловый оранжевый. Для проверки качества навеску препарата 2,1174 г растворили в мерной колбе вместимостью 500,0 см³, объем довели до метки дистиллированной водой. Для анализа с помощью пипетки Мора вместимостью 20,0 см³ взяли аликвоту приготовленного раствора, поместили в колбу для титрования и добавили 3 капли фенолфталеина. До обесцвечивания фенолфталеина затратили 19,3 см³ раствора хлороводородной кислоты с концентрацией 0,0995 моль/дм³. После этого добавили 3 капли метилового оранжевого. Для изменения окраски с желтой на оранжевую потребовалось добавить еще 1,2 см³ хлороводородной кислоты.

Запишите уравнения реакций: а) взаимодействия гидроксида натрия с углекислым газом; б) протекающих при добавлении хлороводородной кислоты в присутствии фенолфталеина; в) протекающих при добавлении хлороводородной кислоты после внесения метилового оранжевого. Рассчитайте массы и массовые доли компонентов загрязненного препарата.

Справочные данные: рТ для индикаторов: метилового оранжевого 4,0; фенолфталеина 8,5. Для угольной кислоты: $K_{a1} = 4,27 \cdot 10^{-7}$; $pK_{a1} = 6,37$; $K_{a2} = 4,68 \cdot 10^{-11}$; $pK_{a2} = 10,33$.

(20 баллов)

Решение:



На Na_2CO_3 расходуется $1,2 \cdot 2 = 2,4$ см³ HCl (2 балла)

На NaOH расходуется $19,3 - 1,2 = 18,1$ см³ HCl (2 балла)

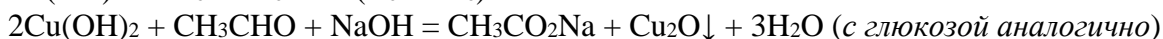
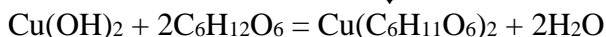
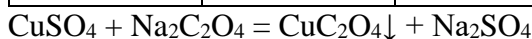
В аликвоте: $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,4 \cdot 0,0995/2 = 0,1194$ ммоль; в навеске $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1194 \cdot 500/20 = 2,985$ ммоль; $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,985 \cdot 106/1000 = 0,3164$ г; $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,3164/2,1174 \cdot 100 = 14,94\%$. (4 балла)

В аликвоте: $n(\text{NaOH}) = 18,1 \cdot 0,0995 = 1,801$ ммоль; в навеске $n(\text{NaOH}) = 1,801 \cdot 500/20 = 45,024$ ммоль; $m(\text{NaOH}) = 45,024 \cdot 40/1000 = 1,801$ г; $\omega(\text{NaOH}) = 1,801/2,1174 \cdot 100 = 85,05\%$ (4 балла)

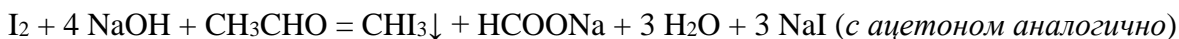
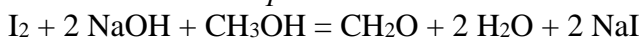
4. Вещество А содержит 50,7 % углерода, 4,23 % водорода и кислород. При его каталитическом гидрировании получается вещество Б, на полную нейтрализацию 0,219 г которого израсходовали 30,9 мл раствора NaOH (0,097 М). Вещество Б взаимодействует с этиловым спиртом с

Международная олимпиада школьников УрФУ «Изумруд» 2022/23 учебный год

$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$)	Изменение цвета раствора на изумрудно-зеленый	Изменение цвета раствора на изумрудно-зеленый	нет реакции	нет реакции	нет реакции	Изменение цвета раствора на изумрудно-зеленый
$\text{I}_2 + \text{NaOH}$	Появление резкого запаха (прелой листвы)	Выпадение светло-желтого осадка	Выпадение светло-желтого осадка	нет реакции	нет реакции	Без видимых изменений



Окисление дихроматом глюкозы имеет сложный характер из-за наличия большого количества функциональных групп, но любой из логичных вариантов, аналогичных предыдущим двум, зачитывается за правильный.



По **3 балла** за каждое строго идентифицированное вещество, плюс **2 балла** за составление таблицы (важно для понимания уникальности набора свойств в ряду).

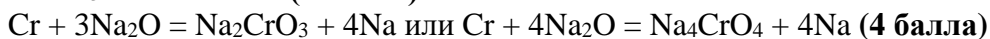
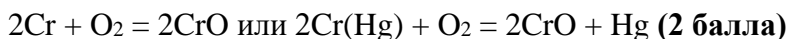
Приведенные реакции не являются исчерпывающими, другие варианты также возможны.

б. Оксид некоторого металла в степени окисления (+2) (оксид **А**) представляет собой черные кристаллы, не взаимодействующие с водой. Оксид **А** можно получить окислением амальгамы этого металла (металл **Б**) азотной кислотой или кислородом. Оксид **А** может самовоспламеняться на воздухе, образуя оксид **В** темно-зеленого цвета. Если оксид **В** нагреть ($T < 400^\circ\text{C}$) при повышенном давлении в присутствии кислорода, то можно получить оксид **Г** черного цвета, являющийся проводником и ферромагнетиком. Взаимодействием металла **Б** с оксидом натрия при нагревании до 600°C в вакууме можно получить соль (соль **Д**), в которой металл **Б** находится в анионе в такой же степени окисления, как и в оксиде **Г**. При взаимодействии оксида **В** с хлороводородной кислотой получается соль **Е**. Соль **Е** выделяется из раствора в виде фиолетовых кристаллов.

Определите вещества А, Б, В, Г, Д и Е. Напишите уравнения реакций. (**30 баллов**)

Решение:

по **3 балла** за каждое вещество А – CrO; Б – Cr; В – Cr₂O₃; Г – CrO₂; Д – Na₂CrO₃ или Na₄CrO₄; Е – CrCl₃



11 класс

1. Из водного раствора массой 350 г с массовой долей этанола 75,5 % удалили 87 литров спирта в газообразном состоянии. Считая, что вся вода осталась в растворе, рассчитайте массовую долю этанола. (5 баллов)

Решение:

Всего спирта: $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 350 \cdot 0,755 = 264,25 \text{ г. (1 балл)}$

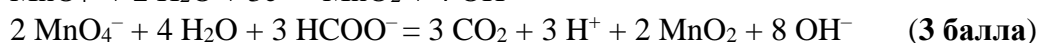
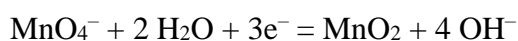
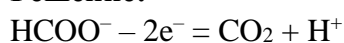
Удалили спирта: $n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 87/22,4 = 3,88 \text{ моль; } m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 3,88 \cdot 46 = 178,48 \text{ г. (1 балл)}$

Осталось: $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 264,25 - 178,48 = 85,77 \text{ г; } m(\text{р-ра}) = 350 - 178,48 = 171,52 \text{ г. (1 балл)}$

$\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 85,77/171,52 \cdot 100 = 50,01 \text{ \% (2 балла)}$

2. Напишите уравнение окисления формиата калия перманганатом калия в нейтральной среде. (5 баллов)

Решение:



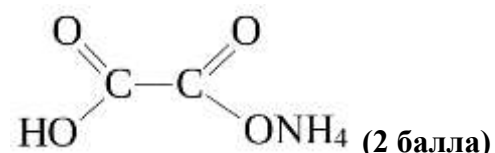
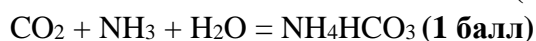
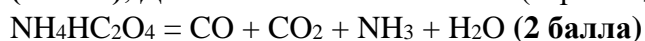
Преобразуем, учитывая, что СО_2 в присутствии щелочи переходит в карбонат или гидрокарбонат (2 балла):



3. Если нагреть твердое вещество А в вакуированном сосуде, то образуется смесь четырех газов (Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 и Γ_4) в соотношении 1:1:1:1, твердого или жидкого вещества не образуется. При последующем охлаждении этого сосуда из газов образуется вещество Б, но один из газов (Γ_4) остается в газообразном состоянии. Этот газ горит на воздухе, его плотность по водороду равна 14. Газы Γ_1 и Γ_2 взаимодействуют друг с другом в мольном соотношении 2:1, при этом получается кристаллическое соединение В. Соединение В можно подвергнуть термической дегидратации, продукт дегидратации Д используется в качестве удобрения. Установите формулы веществ А, Б, В, Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 , Γ_4 , Д и назовите их. Напишите уравнения реакций. Для вещества А приведите структурную формулу. (20 баллов)

Решение:

А – $\text{NH}_4\text{HC}_2\text{O}_4$ гидрооксалат аммония (2 балла); Б – $\text{NH}_4\text{НСO}_3$ гидрокарбонат аммония (2 балла); В – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ карбонат аммония (2 балла); Γ_1 – NH_3 аммиак (1 балл); Γ_2 – CO_2 оксид углерода (+4) или углекислый газ (1 балл); Γ_3 – H_2O вода (1 балл); Γ_4 – CO оксид углерода (+2) или угарный газ (1 балл); Д – $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ мочеви́на (карбамид) (2 балла)

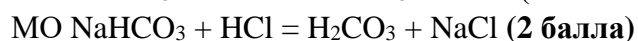


4. Юный химик Вася решил получить раствор карбоната натрия из имеющегося у него раствора гидрокарбоната натрия объемом 100 мл. Добавив 30 мл раствора гидроксида натрия, он обнаружил, что все запасы щелочи израсходованы. Тогда он решил установить состав полученного раствора и определить, какой массы гидроксида натрия ему не хватило для достижения первоначальной цели.

Из полученного раствора Вася отобрал аликвоту 10,0 мл и добавил 3 капли раствора фенолфталеина. Для обесцвечивания раствора ему понадобилось 3,2 мл раствора хлороводородной кислоты с концентрацией 1,019 моль/л. Затем в эту же пробу он добавил 3 капли метилового оранжевого. Для изменения окраски индикатора ему потребовалось добавить еще 12,3 мл раствора хлороводородной кислоты.

Приведите уравнения описанных реакций. Укажите, как изменил окраску метиловый оранжевый. Определите концентрации исходных растворов гидрокарбоната натрия и гидроксида натрия. Рассчитайте массу гидроксида натрия, которой не хватило для достижения первоначальной цели. **(20 баллов)**

Решение:



МО с желтого на оранжевый **(1 балл)**

$$V(\text{р-ра}) = 100 + 30 = 130 \text{ мл}$$

$$\text{На } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ расходуется } 3,2 \cdot 2 = 6,4 \text{ мл HCl (2 балла)}$$

$$\text{На } \text{NaHCO}_3 \text{ расходуется } 12,3 - 3,2 = 9,1 \text{ мл HCl (2 балла)}$$

$$\text{В аликвоте: } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,0064 \cdot 1,019 / 2 = 0,003261 \text{ моль; в растворе } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,003261 \cdot 130 / 10 = 0,0424 \text{ моль. (2 балла)}$$

$$\text{В аликвоте } n(\text{NaHCO}_3) = 0,0091 \cdot 1,019 = 0,00927 \text{ моль; в растворе } n(\text{NaHCO}_3) = 0,00927 \cdot 130 / 10 = 0,1205 \text{ моль. (2 балла)}$$

$$\text{В исходном растворе: } n(\text{NaHCO}_3) = 0,0424 + 0,1205 = 0,1629 \text{ моль; } C(\text{NaHCO}_3) = 0,1629 / 0,1 = 1,629 \text{ моль/л (2 балла)}$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,0424 \text{ моль; } C(\text{NaOH}) = 0,0424 / 0,03 = 1,413 \text{ моль/л (2 балла)}$$

$$\text{Не хватило } 0,1205 \text{ моль NaOH, } m(\text{NaOH}) = 0,1205 \cdot 40 = 4,82 \text{ г (2 балла)}$$

5. Во время открытия шотландским химиком сэром Уильямом Рамзаем благородный газ ксенон считался инертным. С тех пор было обнаружено, что ксенон реагирует с сильными окислителями, например, с газообразным фтором, образуя ряд фторидов, XeF_2 , XeF_4 и XeF_6 . Кинетика образования дифторида ксенона из ксенона и фтора изучена в различных условиях. В следующей таблице показаны мгновенные скорости реакции при 120 °С для различных начальных концентраций реагентов.

$v(\text{Xe})$, моль	$v(\text{F}_2)$, моль	ν , моль/л·с
1.0	5.0	$3.6 \cdot 10^{-5}$
1.0	10.0	$3.6 \cdot 10^{-5}$
2.0	10.0	$7.2 \cdot 10^{-5}$

Каково уравнение скорости образования дифторида ксенона?

Уравнение Аррениуса описывает связь между константой скорости и температурой.

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Некатализируемая реакция между ксеноном и фтором с образованием XeF_2 при температуре T имеет константу скорости k с фактором частоты столкновений A и энергией активации E_a . R – универсальная газовая постоянная.

При добавлении в реакционную смесь катализатора на основе дифторида никеля константа скорости изменяется на k_{cat} с другой частотой столкновений A_{cat} и энергией активации E_{cat} . Установлено, что катализируемая реакция протекает в 13 раз быстрее при 120 °С и в 23 раза быстрее при 100 °С (по сравнению с некатализируемой). Рассчитайте изменение энергии активации $\Delta E = E_a - E_{\text{cat}}$ в кДж/моль, предполагая, что факторы частоты столкновений не зависят от температуры. **(20 баллов)**

Решение:

Как видно из таблицы, при увеличении концентрации фтора скорость реакции не изменяется (нулевой частный порядок) (**3 балла**), а увеличение концентрации ксенона приводит к равному увеличению скорости (первый частный порядок), тогда общее уравнение скорости выглядит как $\nu = k[\text{Xe}]$ (**4 балла**). (Если вместо k подставлено $3,6 \cdot 10^{-5}$, не засчитывалось, так как объем неизвестен).

Запишем уравнения для констант скорости катализируемой и некатализируемой реакций.

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

$$k_{\text{cat}} = A_{\text{cat}} \cdot e^{-E_{\text{cat}}/RT}, \text{ тогда}$$

$$k_{\text{cat}}/k = A_{\text{cat}}/A \cdot e^{(E_a - E_{\text{cat}})/RT}, \text{ прологарифмируем обе части}$$

$$\ln(k_{\text{cat}}/k) = \ln(A_{\text{cat}}/A) + \Delta E/RT.$$

$$\Delta E = RT(\ln(k_{\text{cat}}/k) - \ln(A_{\text{cat}}/A)). \text{ (3 балла)}$$

Подставим значения для двух температур и приравняем их (ΔE от температуры не зависит) (**3 балла**):

$$R \cdot 393 \cdot (\ln(13) - \ln(A_{\text{cat}}/A)) = R \cdot 373 \cdot (\ln(23) - \ln(A_{\text{cat}}/A))$$

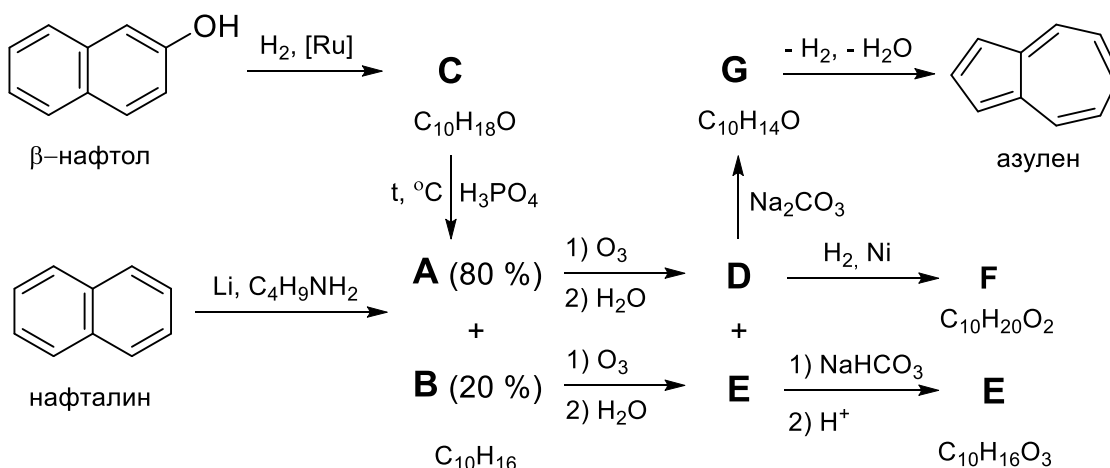
$$20 \cdot \ln(A_{\text{cat}}/A) = 393 \cdot \ln(13) - 373 \cdot \ln(23)$$

$$\ln(A_{\text{cat}}/A) = -8,08$$

подставим найденное значение в уравнения для любой из температур

$$\Delta E = 8,314 \cdot 373 \cdot (\ln(23) + 8,08) = 34800 \text{ (Дж/моль)} = 34,8 \text{ (кДж/моль)} \text{ (7 баллов)}$$

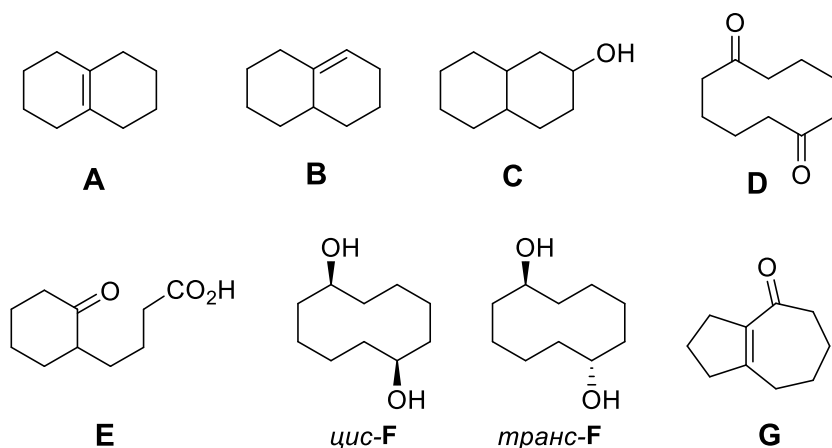
6. При обработке нафталина смесью лития и бутиламина получается смесь изомеров **A** и **B** состава $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ в соотношении 4:1. Ту же смесь можно получить при последовательном гидрировании β -нафтола и обработке продукта кислотой при нагревании. Озонолиз позволяет легко разделить **A** и **B**. Из двух продуктов, **D** и **E**, при обработке раствором NaHCO_3 , в водную фазу переходит только **E**, возвращаемое в исходном виде после подкисления. Вещество **D** при действии водородом на никеле превращается в **F** (2 изомера), а при кипячении с карбонатом натрия превращается в **G**, из которого дегидрированием и дегидратацией можно получить азулен, изомер нафталина тёмно-синего цвета. Изобразите структуру всех веществ (2 изомера **F**). Почему на первой стадии получают именно **A** и **B**?



(30 баллов)

Решение:

Загаданные структуры (каждая по **3 балла**):



Среди всех вариантов моноалкенов со скелетом нафталина именно **A** и **B** имеют наиболее замещенную кратную связь (вспомним правило Зайцева). Этим же объясняется и соотношение между продуктами (**A** – более замещенный и более выгодный). Заметим также, что при высокой температуре в присутствии кислоты алкены могут переходить в изомеры по положению кратной связи, поэтому **A** и **B** образуются даже из спирта **C**, который не может превращаться в них напрямую (**6 баллов**).