

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2024/25
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. Продолжительность 90 минут

1 вариант

9 класс

Задача 9-1

Метод хромирования широко используется в современной промышленности для защиты металлических изделий от коррозии, повышения твердости и придания привлекательного вида. Этот метод заключается в гальваническом нанесении тонкого слоя хрома на металлический предмет. Недостатком является большое количество жидких отходов, содержащих хром и другие экотоксиканты.

В результате химического анализа установили, что сточная вода гальванического производства содержит CrCl_3 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, при этом концентрация хрома (VI) в растворе превышает концентрацию хрома (III) в два раза. Установите концентрацию каждого из веществ в растворе (в моль/л), если при выпаривании 1 л раствора образовалось 0.4525 г сухого осадка. В расчетах учтите, что сухой остаток содержит только безводные соли.

Напишите по одной химической реакции, позволяющей весь хром в растворе перевести соединение хрома с одной степенью окисления. Укажите условия протекания реакций.

Решение

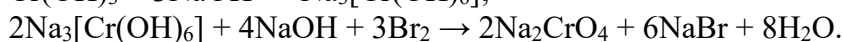
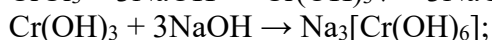
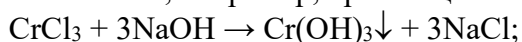
Примем количество Cr(III) в 1 литре раствора за x моль, тогда количество Cr(VI) равно $2x$. Исходя из числа атомов хрома в формульной единице можно записать:

$n(\text{CrCl}_3) = x$ моль; $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 2x/2 = x$ моль. Масса сухого остатка равна:

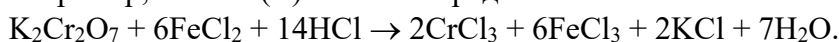
$$m = m(\text{CrCl}_3) + m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 158.5 \cdot x + 294 \cdot x = 452.5 \cdot x = 0.4525.$$

Отсюда $x = 0.001$ моль. Следовательно, концентрация каждого из веществ в растворе равна 0.001 моль/л.

Для того, чтобы весь хром (III) перевести в хром (VI) необходимо добавить окислитель, например, бром в щелочной среде:



Для перевода всего хрома в хром (III) необходимо добавить восстановитель, например, железо (II) в кислой среде:

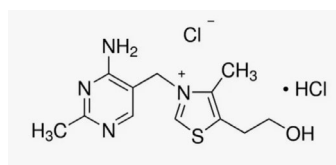


Разбалловка

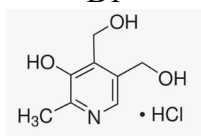
- | | |
|---|-------|
| 1. За расчет молярной концентрации по 5 баллов | 10 б. |
| 2. За написание реакций по 5 баллов за один пример | 10 б. |
| 3. За указания условий протекания реакций (кислотности) | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-2

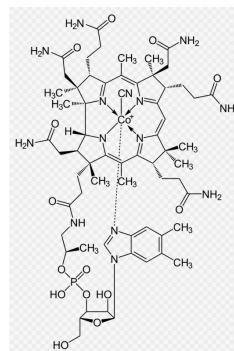
Витамины группы В – это биологически активные вещества, необходимые для жизнедеятельности человека. Они не синтезируются организмом и их содержание необходимо постоянно пополнять. Сочетание В1, В6 и В12 называют "нейротропными витаминами", поскольку вместе они проявляют синергетические свойства и более эффективны в решении проблем неврологического характера, чем по отдельности.



B1



B6



B12

Одна ампула препарата мильгамы объемом 2 мл содержит по 100 мг В1 ($C_{12}H_{17}ClN_4OS \cdot HCl$) и В6 ($C_8H_{11}NO_3 \cdot HCl$), масса В12 ($C_{63}H_{88}CoN_{14}O_{14}P$) в 100 раз меньше. Рассчитайте молярную концентрацию каждого из витаминов в растворе для инъекций. Какое число атомов углерода содержится в этих витаминах в одной ампуле?

Решение

Молярные массы витаминов следующие:

$$M(B1) = 337 \text{ г/моль}; \quad M(B6) = 205.5 \text{ г/моль}; \quad M(B12) = 1355 \text{ г/моль}.$$

Найдем молярные концентрации:

$$c(B1) = 0.1 \text{ г} / (337 \text{ г/моль} \cdot 0.002 \text{ л}) = 0.148 \text{ моль/л};$$

$$c(B6) = 0.1 \text{ г} / (205.5 \text{ г/моль} \cdot 0.002 \text{ л}) = 0.243 \text{ моль/л};$$

$$c(B12) = 0.001 \text{ г} / (1355 \text{ г/моль} \cdot 0.002 \text{ л}) = 0.000369 \text{ моль/л}.$$

В этих витаминах содержится $12 \cdot 0.148 \text{ моль} + 8 \cdot 0.243 \text{ моль} + 63 \cdot 0.000369 \text{ моль} = 3.74 \text{ моль}$ атомов углерода или $3.74 \text{ моль} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 2.25 \cdot 10^{24}$ атомов углерода.

Разбалловка

За расчет концентрации В1, В6 и В12 по 6 б.

18 б.

За расчет числа атомов углерода

7 б.

Всего:

25 б.

Задача 9-3

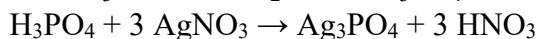
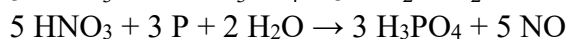
Красный фосфор растворился в горячей концентрированной азотной кислоте, перейдя в высшую степень окисления. При этом произошло выделение двух газообразных соединений азота **А** и **В** в объемном соотношении 2:1. Один моль вещества **А** содержит $13.846 \cdot 10^{24}$ протонов, а моль вещества **В** – в 1.533 раза меньше. По окончании реакции к полученному водному раствору добавили избыток нитрата серебра и получили 251.4 г осадка ярко-желтого цвета. Определите суммарный объем выделившихся газов при н.у., а также в условиях: 20°C, 0.5 атм. Запишите уравнения протекающих реакций. Атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

Решение

В 1 моль газа **А** содержится количество вещества протонов: $13.846 \cdot 10^{24} / 6.02 \cdot 10^{24} = 23$

моль. Это NO_2 . В 1 моль газа **В** содержится количество вещества протонов:

$$13.846 \cdot 10^{24} / (1.533 \cdot 6.02 \cdot 10^{24}) = 15 \text{ моль. Это } \text{NO}.$$



Найдем $n(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 251.4 / 419 = 0.6$ моль. Значит и $n(\text{P}) = 0.6$ моль.

Примем $n_1(\text{P})$ количество фосфора, прореагировавшего с выделением NO_2 , за x моль, тогда $n_2(\text{P})$ с выделением NO будет $(0.6-x)$ моль.

Тогда $n(\text{NO}_2) = 5x$ моль, $n(\text{NO}) = 5(0.6-x)/3$. Объемное отношение NO_2 и NO равно мольному. $n(\text{NO}_2)/n(\text{NO}) = 15x/5(0.6-x) = 2$ $3x = 1.2 - 2x$ $5x = 1.2$ $x = 0.24$.
 $n(\text{газов}) = 5 \cdot 0.24 + 5 \cdot (0.6 - 0.24)/3 = 1.2 + 0.6 = 1.8$ моль.

$V_1(\text{газов при н. у.}) = 1.8 \cdot 22.4 = 40.32$ л.

$V_2(\text{газов при } 20^\circ\text{C и } 0.5 \text{ атм.}) = (1.8 \cdot 8.314 \cdot 293)/(101325 \cdot 0.5) = 0.0865 \text{ м}^3 = 86.5 \text{ л.}$
($PV=nRT$)

Разбалловка

За 3 уравнения по 5 б.

15 б.

За расчет $V_1(\text{газов}) = 40.32$ л и $V_2(\text{газов}) = 86.5$ л по 5 б.

10 б.

Всего

25 б

Задача 9-4

В промышленности для получения негашеной извести пропускают воздух через нагретую смесь карбоната кальция с углем. Начинается экзотермическая реакция соединения **A**, обеспечивающая энергией протекание эндотермической реакции разложения **B**. Определите минимальную массовую долю угля в смеси для успешного протекания синтеза негашеной извести, если потери тепла пренебрежимо малы. Известны стандартные значения энтальпий образования веществ, кДж/моль: CO_2 (-393.5), CaO (-638), CaCO_3 (-1210). Запишите необходимые термохимические уравнения для указанных процессов **A** и **B**. Напишите формулы гашеной извести, натронной извести, хлорной извести. Что представляет собой известковая вода и известковое молоко? Стандартная мольная энтальпия образования сложного вещества $\Delta_f H^\circ$ равна энтальпии реакции образования 1 моль этого вещества из простых веществ, отнесенная к стандартным условиям. Стандартная мольная энтальпия образования простого вещества равна нулю.

Решение

Теплота, выделяющаяся в реакции **A**, должна быть равна теплоте, поглощающейся в реакции **B**:

$\text{C}_\text{T} + \text{O}_{2\text{T}} \rightarrow \text{CO}_{2\text{T}} + 393.5 \text{ кДж}$ (экзотермическая реакция **A**)

$\text{CaCO}_{3\text{T}} \rightarrow \text{CaO}_\text{T} + \text{CO}_{2\text{T}} \quad \Delta_f H^\circ(\text{B})$ (эндотермическая реакция **B**)

Определим $\Delta_f H^\circ(\text{B}) = \Delta_f H^\circ(\text{CaO}) + \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ(\text{CaCO}_3) = -638 - 393.5 + 1210 = +178.5 \text{ кДж/моль.}$

Пусть в состав исходной смеси входит 1 моль CaCO_3 и x моль угля. $n(\text{CaCO}_3) = 1$ моль, значит $m(\text{CaCO}_3) = 100$ г. $\Delta_f H^\circ(\text{B}) = 178.5 \text{ кДж.}$

Тогда должно быть $\Delta_f H^\circ(\text{A}) = -178.5 \text{ кДж.}$ Для этого $n(\text{угля}) = x = -178.5 / -393.5 = 0.454$ моль. $m(\text{угля}) = 0.454 \cdot 12 = 5.448$ г. Массовая доля угля $5.448 / (5.448 + 100) = 0.0517$ (**5.17%**).

Гашеная известь - Ca(OH)_2 . Натронная известь – смесь NaOH и Ca(OH)_2 . Хлорная известь – CaOCl_2 , она, как правило, содержит примеси $\text{Ca(OC}l)_2$, CaCl_2 , Ca(OH)_2 . Известковая вода – насыщенный раствор Ca(OH)_2 . Известковое молоко – суспензия CaCO_3 в воде.

Разбалловка

За 2 уравнения по 5 б.

10 б.

За расчет $\Delta_f H^\circ(\text{B}) = +178.5 \text{ кДж/моль}$

5 б.

За $\omega(\text{угля}) = 5.17\%$

5 б.

За определение гашеной извести, натронной извести, хлорной извести известковой воды и известкового молока по 1 б.

5 б.

Всего

25 б

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2024/25
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. Продолжительность 90 минут
2 вариант

9 класс

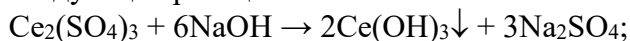
Задача 9-1

Угольные пастовые электроды используются в аналитической практике для вольтамперометрического определения различных веществ, которые окисляются или восстанавливаются на электроде при наложении потенциала. Для приготовления электрода мелкодисперсный графит смешивают с связующим материалом (например парафином, вазелиновым маслом и др.), получившуюся пасту помещают в пластиковый корпус и соединяют с электрохимической ячейкой медной проволокой. Для облегчения протекания электродной реакции поверхность графита предварительно модифицируют путем нанесения химическим способом различных твердых веществ, проявляющих каталитические свойства.

Вычислите, какие объемы 0.02 моль/л растворов сульфата церия (III) и гидроксида натрия необходимо слить (в мл) в присутствии графита, чтобы после отделения осадка от раствора и прокаливания на воздухе получить 1.72 г графита, модифицированного оксидом церия (IV). В расчетах учтите, что массовая доля оксида церия (IV) в модифицированном графите должна составлять 0.1. Какую массу реагентов необходимо взять для приготовления такого объема растворов? Запишите уравнения реакций, протекающих при модификации графита.

Решение

1.72 г модифицированного графита содержит $0.1 \cdot 1.72 = 0.172$ г CeO_2 или $0.172 \text{ г} / 172 \text{ г/моль} = 0.001$ моль. При модификации поверхности графита протекают следующие реакции:



Для получения 0.001 моль CeO_2 потребуется:

$$0.001/2 = 0.0005 \text{ моль } \text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ и } 0.001 \cdot 3 = 0.003 \text{ моль } \text{NaOH}.$$

Для модификации необходимо взять:

$$0.0005 \text{ моль} / 0.02 \text{ моль/л} = 0.025 \text{ л или } 25 \text{ мл раствора } \text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ и}$$

$$0.003 \text{ моль} / 0.02 \text{ моль/л} = 0.15 \text{ л или } 150 \text{ мл раствора } \text{NaOH}.$$

Для приготовления этих растворов необходимо взять следующие массы веществ:

$$0.0005 \text{ моль} \cdot 568 \text{ г/моль} = 0.284 \text{ г } \text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3;$$

$$0.003 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 0.12 \text{ г } \text{NaOH}.$$

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакций по 5 б | 10 б. |
| 2. За расчет объемов по 5 б. | 10 б. |
| 3. За расчет масс | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-2

Ионообменные смолы (иониты) – это нерастворимые в воде твердые органические соединения, способные стехиометрически в эквивалентных соотношениях обмениваться собственными ионами с ионами из раствора. Их подразделяют на катиониты и аниониты в зависимости от того, какими ионами обмениваются – катионами или анионами. С точки зрения химического состава иониты представляют собой инертную органическую полимерную матрицу (R), к которой присоединены ионогенные группы, отвечающие за ионный обмен. Для катионитов такой группой может быть сульфогруппа $-\text{SO}_3^-\text{H}^+$. В уравнениях химических реакций формулу такого катионита в H^+ форме записывают в виде $\text{R-SO}_3^-\text{H}^+$.

50 мл водного раствора нитрата бария и азотной кислоты пропустили через катионит в H^+ форме. Полученный раствор реагирует с 15 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0.1 моль/л. Установите концентрацию растворенных веществ в исходном растворе в моль/л, если он реагирует с 10 мл 0.05 моль/л сульфата натрия. Запишите уравнения протекающих реакций. В расчетах учтите, что все реакции протекают количественно (полностью), ионообменной емкости ионита достаточно для обмена всех катионов, находящихся в растворе.

Во сколько раз масса нитрата бария в исходном растворе больше массы азотной кислоты?

Решение

Исходный раствор взаимодействует с 10 мл 0.05 моль/л или 0.0005 моль сульфата натрия: $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{NaNO}_3$. Из уравнения реакции видно, что исходный раствор содержит такое же количество нитрата бария $n(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.0005$ моль.

При пропускании раствора через катионит протекает следующая реакция:
 $2\text{R-SO}_3^-\text{H}^+ + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow (\text{R-SO}_3^-)_2\text{Ba}^{2+} + 2\text{HNO}_3$.

Раствор, прошедший через катионит, содержит азотную кислоту, которая изначально была в исходном растворе, и азотную кислоту, которая образовалась в результате ионного обмена ионов бария на смоле. В результате ионного обмена образовалось $0.0005 \text{ моль} \cdot 2 = 0.001$ моль HNO_3 .

Реакция азотной кислоты с гидроксидом натрия: $\text{HNO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
Общее количество HNO_3 в растворе после катионита равно количеству NaOH , прореагировавшему с этим раствором, то есть $0.015 \text{ л} \cdot 0.1 \text{ моль/л} = 0.0015$ моль. Следовательно, в исходном растворе находилось $0.0015 \text{ моль} - 0.001 \text{ моль} = 0.0005$ моль азотной кислоты.

Найдем концентрации веществ в исходном растворе:
 $C(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.0005 \text{ моль} / 0.050 \text{ л} = 0.01 \text{ моль/л}$; $C(\text{HNO}_3) = 0.0005 \text{ моль} / 0.050 \text{ л} = 0.01 \text{ моль/л}$.

Поскольку молярные концентрации $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ и HNO_3 равны, то отношение масс этих веществ равно отношению молярных масс:
 $m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) / m(\text{HNO}_3) = M(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) / M(\text{HNO}_3) = 4.14$.

Разбалловка

За расчет концентраций нитрата бария и азотной кислоты в мг/мл по 6 б.	12 б.
За уравнения реакций с Na_2SO_4 и NaOH по 2 б.	4 б.
За уравнение реакции на смоле	4 б.
За отношение масс	5 б.
Всего:	25 б.

Задача 9-3

Известно, что азотная кислота реагирует с металлами не так, как другие кислоты. В зависимости от активности металла и концентрации азотной кислоты атом азота может восстанавливаться до степеней окисления +4, +2, +1, 0, -3. Порошок металла массой 0.72 г растворился в очень разбавленной азотной кислоте, во время этого выделения газов не было. Образовавшийся раствор нагрели и к нему прибавили избыток 40%-ного раствора NaOH, при этом выделилось 448 мл газа (н. у.). Определите металл, газ, напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

При взаимодействии металла с азотной кислотой образуется соль, а при взаимодействии этой соли с щелочью выделился газ, то этот газ – аммиак.



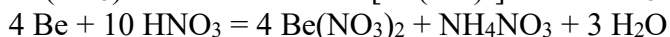
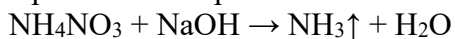
Из первого уравнения следует, что 8 моль металла дают x моль NH_4NO_3 .

По условию $n(\text{NH}_3) = 0.448 / 22.4 = 0.02$ моль,

тогда $n(\text{Me}) = 8 \cdot 0.02 / x = 0.16/x$ моль.

$M(\text{Me}) = 0.72x / 0.16 = 4.5x$ (г/моль).

При $x = 2$ молярная масса металла равна 9, металл – это бериллий.



Разбалловка

За 3 уравнения по 5 б.	15 б.
За определение бериллия	6 б.
За определение аммиака	4 б.
Всего	25 б

Задача 9-4

В газообразном оксиде А массовая доля кислорода 72.73%. При пропускании 2.24 л (н.у.) газа А через раствор 0.14 моль гидроксида натрия весь газ растворился и в растворе образовались продукты Б и В. К полученному раствору добавили избыток известковой воды (водный раствор гидроксида кальция) до прекращения выпадения белого осадка Г. Определите вещества А - Г, а также количества Б и В в конечном растворе. Известно, что при 100°C вещество Б в чистом виде разлагается, а вещество В устойчиво. Составьте уравнения реакции получения Б, В, Г и разложения Б.

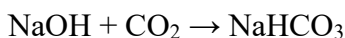
Решение

Пусть оксид А имеет формулу $\text{Э}_2\text{O}_x$. Тогда $\omega(\text{O}) = 16 \cdot x / (2M(\text{Э}) + 16x) = 0.7273$

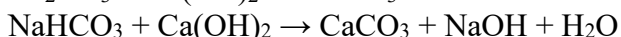
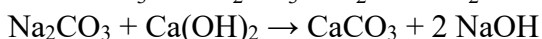
$$16x = 1.4546M(\text{Э}) + 11.6368x \quad 4.3632x = 1.4546M(\text{Э}) \quad M(\text{Э}) = 3x$$

Единственный ответ: $x = 4$, $M(\text{Э}) = 12$ г/моль. А - это CO_2 . $n(\text{CO}_2) = 2.24 / 22.4 = 0.1$ моль.

Сначала 0.1 моль NaOH прореагировали с 0.1 моль CO_2 с выделением 0.1 моль NaHCO_3 :



Затем оставшиеся 0.04 моль NaOH прореагировали с 0.04 моль NaHCO_3 с образованием 0.04 моль Na_2CO_3 :



Ответ: А - это CO_2 , Б - NaHCO_3 , В - Na_2CO_3 , Г - CaCO_3 , $n(\text{NaHCO}_3) = 0.06$ моль, $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.04$ моль.

Разбалловка

За определение A - CO_2	5 б.
За определение Б (NaHCO_3), В (Na_2CO_3), Г (CaCO_3) по 2 б.	6 б.
За определение количества Б 0.06 моль и В 0.04 моль по 2 б.	4 б.
За 5 уравнений по 2 б.	10 б.
Всего	25 б