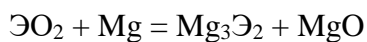
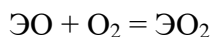
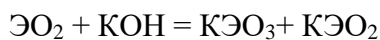


Изумруд 2024/25 уч. год

Химия 8 класс

1. Некоторый элемент Э в составе соединений может участвовать в реакциях, схемы которых:

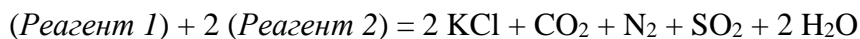


Установите, что это за элемент. Приведите уравнения описанных реакций.

ОТВЕТ: N (азот) – **2 балла**; $2\text{NO}_2 + 2\text{KOH} = \text{KNO}_3 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (**1 балл**); $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ (**1 балл**); $2\text{NO}_2 + 7\text{Mg} = \text{Mg}_3\text{N}_2 + 4\text{MgO}$ (**1 балл**).

(5 баллов)

2. Перед вами незаконченное уравнение реакции, запишите его полностью.



Реагент 1 используется в опыте «искусственная кровь» или «химический порез». С соединениями какого элемента его надо смешать, чтобы получить этот эффект?

ОТВЕТ: $\text{NH}_4\text{SCN} + 2 \text{KClO}_3 = 2 \text{KCl} + \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (**4 балла**)

Такую реакцию дают соединения железа(III) (**1 балл**)

(5 баллов)

3. В избыток 15 %-ного раствора хлороводородной кислоты внесли навеску твердого индивидуального вещества белого цвета массой 2,1 г. В результате реакции выделилось 0,56 л газа (н.у.). Плотность газа по водороду составила 22. Установите состав соединения. Приведите уравнение реакции взаимодействия вещества с хлороводородной кислотой.

ОТВЕТ: $M(\text{газа}) = 22 \cdot 2 = 44$ г/моль (**3 балла**). $n(\text{газа}) = 0,56/22,4 = 0,025$ моль. $n(\text{в-ва}) = 0,025$; 0,05 и т.д. (**3 балла**). $M(\text{в-ва}) = 2,1/0,025 = 84$ г/моль или $2,1/0,05 = 42$ г/моль – не может быть, меньше $M(\text{газа})$ (**3 балла**). Если газ CO_2 , то вещество – карбонат (**3 балла**). Подходит NaHCO_3 или MgCO_3 (**4 балла**). $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ или $\text{MgCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (**4 балла**)

(20 баллов)

4. Перед вами первый вариант периодической таблицы Дмитрия Ивановича Менделеева, опубликованный в 1969 году. В отличие от наших современных таблиц, в этой версии группы элементов расположены в горизонтальных рядах, а элементы упорядочены по их атомным массам (принятым в то время).

Таблице предстояла ещё серьёзная эволюция, и в ней можно обнаружить ряд ошибок.

Одна ошибка – это масса элемента индия (In). Чтобы определить атомную массу индия, известное количество металла растворили в соляной кислоте, добавили раствор гидроксида натрия, а затем прокалили, получив тугоплавкий белый порошок.

Напишите устаревшее название подобных тугоплавких соединений (оно сохранилось в обозначении некоторых групп элементов). Приведите уравнения осуществленных в ходе анализа реакций. Используя современную атомную массу индия, рассчитайте максимальную массу конечного продукта, которая могла быть образована из 1,00 г металлического индия.

Когда Менделеев создал свою первую таблицу, индий был только что открыт, и его химические свойства не были полностью изучены. Какую валентность ошибочно приписали индию, судя по приведенному атомному весу? Ответ обоснуйте расчетами.

ОТВЕТ: Анализ металла проводился по следующим реакциям: $2\text{In} + 6\text{HCl} = 2\text{InCl}_3 + 3\text{H}_2$; $\text{InCl}_3 + 3\text{NaOH} = \text{In}(\text{OH})_3 + 3\text{NaCl}$; $2\text{In}(\text{OH})_3 = \text{In}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ (3 уравнения по **3 балла**). Конечный продукт – тугоплавкий оксид, которые раньше называли землями (**2 балла**), отсюда названия щелочноземельных и редкоземельных элементов. Из 2 моль индия (229,64 г) образуется 1 моль оксида индия (277,63 г). Уменьшив пропорционально обе массы, получим, что из 1 г индия могло образоваться 1,21 г оксида (**4 балла**). Приведенный в таблице атомный вес индия – 75,6 г/моль. В этом случае в 1 г индия содержалось бы 0,0132 моль его атомов. Масса оксида получится та же самая, тогда молярная масса, приходящаяся на 1 моль индия в нем, будет равна $1,21/0,0132 = 91,5$ (г/моль). То есть на один атом индия приходится дополнительно $91,5 - 75,6 = 15,9$ (г/моль), соответствующие одному атому кислорода. Значит предполагавшаяся формула была InO , а индию приписывали валентность (II) (**5 баллов**).

(20 баллов)

5. Представим себя колонистами на Луне. Одной из наших проблем будет разреженная атмосфера и отсутствие легкого доступа к газообразному кислороду. Преодолеть это можно, извлекая кислород из лунных минералов. Большая часть лунной породы состоит из сложных силикатов, которые можно представить в виде смеси оксидов металлов и диоксида кремния, например, силикат натрия можно записать как $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Одним из основных силикатных минералов на Луне является анортозит – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Рассматривая минерал как сложный оксид, рассчитайте процент по массе SiO_2 и Al_2O_3 , который он содержит.

Некоторые регионы содержат значительные доли минерала ильменита, FeTiO_3 , из которого довольно просто получать кислород. Одним из предлагаемых методов для этого является восстановление руды водородом (привезенным с Земли) с получением железа, оксида титана и воды. Во время реакции титан остается в своей максимальной степени окисления. Образовавшаяся вода затем может быть подвергнута электролизу для повторного образования водорода и высвобождения кислорода.

Какова максимальная степень окисления титана? Учитывайте его положение в таблице Менделеева. Приведите формулы двух оксидов, которые можно считать составляющими ильменита. Приведите уравнение реакции между ильменитом и водородом.

Если предположить, что среднее содержание титана в породе, используемой в процессе, составляет 2,50 % по массе, а все примеси являются инертными, сколько тонн лунной породы потребуется для получения тонны газообразного кислорода?

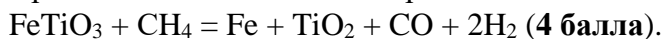
Другой вариант – многоступенчатый процесс, который начинается с восстановления железа в ильмените метаном. На первом этапе один моль метана реагирует с одним моле ильменита, образуя пять молей продуктов, три моля из которых являются газообразными при нормальных условиях. Предложите уравнение протекающей при этом реакции. Из полученных газообразных продуктов можно затем регенерировать метан. Напишите уравнение этой реакции.

ОТВЕТ: Состав анортозита можно записать как $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (2 балла), его общая молярная масса – 278 г/моль, тогда на Al_2O_3 приходится $102/278 = 0,367 = 36,7\%$ (3 балла), а на SiO_2 приходится $2 \cdot 60/278 = 0,432 = 43,2\%$ (3 балла). Титан находится в IVB подгруппе, его максимальная степень окисления +4 (2 балла). Состав ильменита можно записать как $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ (2 балла). Уравнение реакции между ильменитом и водородом:



Дальнейшее получение кислорода из воды идет по уравнению $2 \text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 2 \text{H}_2$, то есть для получения 1 моль (32 г) кислорода необходимо взять 2 моль ильменита, содержащие 2 моль (95,8 г) титана (2 балла). При пересчете на тонну кислорода получим 3 тонны титана или, с учетом его содержания в породе, $3/0,025 = 120$ тонн породы (2 балла).

Уравнение извлечения кислорода из ильменита метаном:



$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (3 балла), вода затем может быть подвергнута электролизу.

(25 баллов)

6. 63 г пищевой соды растворили в 1500 мл кипящей воды. Приведите уравнения реакций. Рассчитайте массовую долю растворенного вещества в растворе после охлаждения, если 5 % воды выкипело во время эксперимента.

ОТВЕТ: $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (4 балла); $n(\text{NaHCO}_3) = 63/84 = 0,75$ моль (2 балла); $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,375$ моль (2 балла); $n(\text{CO}_2) = 0,375$ моль (2 балла); $m(\text{H}_2\text{O}) = 1500 \cdot 0,95 = 1425$ г (2 балла); $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,375 \cdot 106 = 39,75$ г (2 балла); $m(\text{CO}_2) = 0,375 \cdot 44 = 16,5$ г (2 балла); $m(\text{р-ра}) = 1425 + 63 - 16,5 = 1471,5$ г (4 балла); $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 39,75 \cdot 100/1471,5 = 2,70\%$ (5 баллов)

(25 баллов)

Изумруд 2024/25 уч. год

Химия 9 класс

1. Предложите три разнотипных примера, когда при добавлении азотной кислоты к водному раствору соли образуется осадок, невзирая на то, что все нитраты растворимы. Для каждого примера приведите по одному уравнению реакции.

ОТВЕТ: Окисление соли $3K_2S + 8HNO_3 = 6KNO_3 + 3S + 2NO + 4H_2O$ (1,5 балла); разрушение комплексной соли $[Ag(NH_3)_2]Br + 2HNO_3 = AgBr + 2NH_4Br$ (1,5 балла); разложение соли неустойчивой кислоты $Na_2S_2O_3 + 2HNO_3 = 2NaNO_3 + SO_2 + S + H_2O$ (2 балла)

(5 баллов)

2. А и Б – оксиды одного и того же элемента, причём его степень окисления в оксиде А на 2 больше, чем в оксиде Б. Массовая доля элемента в оксиде Б больше его массовой доли в оксиде А в 1,291 раза. Определите этот элемент.

ОТВЕТ: в общем виде формулы А и Б будут выглядеть как $Э_2O_{x+2}$ и $Э_2O_x$ соответственно. Отношение массовых долей элемента будет выражаться как $(2A_Э + 16(x+2))/(2A_Э + 16x) = 1,291$. Преобразуем и выразим $A_Э$ через x : $2A_Э + 16x + 32 = 2,582A_Э + 20,656x$; $0,582A_Э = 32 - 4,656x$; $A_Э = 55 - 8x$. Осуществляем перебор: $x = 1$, $A_Э = 47$ (нет совпадений), $x = 2$, $A_Э = 39$ (К, подходит по формуле, не подходит по признаку переменной валентности), $x = 3$, $A_Э = 31$ (Р, подходит), $x = 4$, $A_Э = 23$ (Na, не подходит по валентности), $x = 5$, $A_Э = 15$ (нет совпадений), $x = 6$, $A_Э = 7$ (Li, не подходит по валентности). Элемент – фосфор (P_2O_3 и P_2O_5) (5 баллов). За ответ без перебора ставится 3 балла. За ответ без расчетов – 0 баллов.

(5 баллов)

3. Некоторое ядовитое соединение при комнатной температуре является газом с неприятным запахом. Плотность по водороду 27. Может самовоспламеняться на воздухе. При сгорании соединение образует пламя характерного зеленого цвета, один из продуктов горения – твердое вещество. Установите формулу данного соединения. Приведите его название. Напишите уравнение реакции взаимодействия соединения с кислородом.

ОТВЕТ: $M(в-ва) = 27 \cdot 2 = 54$ г/моль (3 балла); зеленый цвет пламени при сгорании и твердый продукт характерны для соединений бора, значит соединение относится к классу бороводородов (боранов) (8 баллов); М соответствует тетраборан (боробутан) B_4H_{10} (5 баллов); $2B_4H_{10} + 11O_2 = 4B_2O_3 + 10H_2O$ (4 балла)

(20 баллов)

4. Навеску оксида железа неизвестного состава массой 0,1 г растворили в хлороводородной кислоте. Железо в растворе восстановили до степени окисления +2. На реакцию с полученным раствором потребовалось 14,5 мл раствора дихромата калия с концентрацией 0,0149 моль/л. Какой оксид железа был взят? Ответ докажете расчетами. Приведите уравнения описанных реакций; реагент и условия, необходимые для восстановления железа, предложите самостоятельно.

ОТВЕТ: $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,0149 \cdot 0,0145 = 0,000216$ моль (**2 балла**); т.к. железо отдает 1 электрон, а дихромат принимает 6 электронов, то $n(\text{Fe}) = 0,000216 \cdot 6 = 0,00130$ моль (**3 балла**); $m(\text{Fe}) = 0,0013 \cdot 56 = 0,0726$ г (**2 балла**); $m(\text{O}) = 0,0272$ г, $n(\text{O}) = 0,0272/16 = 0,0017$ моль (**2 балла**); $0,0017:0,0013 = 4:3$; Fe_3O_4 (**3 балла**); $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ (**2 балла**); $2\text{FeCl}_3 + \text{Zn}$ (в присутствии HCl) = $2\text{FeCl}_2 + \text{ZnCl}_2$ (**3 балла**); $6\text{FeCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 14\text{HCl} = 6\text{FeCl}_3 + 2\text{CrCl}_3 + 2\text{KCl} + 7\text{H}_2\text{O}$ (**3 балла**)

(**20 баллов**)

5. Растворение вещества, как и химические процессы, сопровождается тепловым эффектом. При этом количество выделяющейся или поглощаемой энергии зависит от кристаллической формы соединения, и, в частности, отличается для кристаллогидратов различного состава. В таблице представлены теплоты растворения сульфата меди и его гидратов при одинаковых условиях. Основываясь на этих данных, можно определить неизвестное содержание воды в образце сульфата меди. Для этого растворение проводят в калориметре (термоизолированном сосуде с водой, внутри которого находится емкость для исследуемого процесса), а после установления теплового равновесия, измеряют разницу температур. Предварительно проводят эксперимент с эталонным веществом.

Вещество	CuSO_4	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Теплота растворения, Дж/г	389,67	217,88	71,23	-46,09

Почему отличаются теплоты растворения разных форм одной соли? Напишите формулу, по которой можно рассчитать теплоту растворения (Q), зная изменение температуры (Δt) в калориметре. Вам понадобятся дополнительные литературные и экспериментальные данные, укажите, какие. Какой параметр системы нельзя измерить напрямую, вследствие чего и нужен эксперимент с эталоном?

В ходе измерений было найдено, что при растворении 3 г NH_4Cl ($Q_{\text{раств}} = -284$ Дж/г) Δt составило $-0,60$ °С, а при растворении 3 г образца CuSO_4 в тех же условиях Δt составило $0,32$ °С. Вычислите теплоту растворения образца сульфата меди. Какие формы соли в нём присутствуют? Вычислите массовую долю воды в исследованном образце.

ОТВЕТ: теплота растворения складывается из теплоты, необходимой на разрушение кристаллической решетки (отрицательная) и теплоты сольватации образовавшихся ионов (положительная). Кристаллизационная вода уже входит в координационную сферу ионов (в нашем случае меди) и уменьшает теплоту сольватации. Таким образом, общая теплота растворения становится более отрицательной (**3 балла**). Теплота связана с изменением температуры через теплоемкость $Q = C \cdot \Delta t$. Теплоемкость всей системы складывается из теплоемкости самого калориметра, теплоемкости налитой в него воды и теплоемкости добавленных компонентов (в нашем случае соли). Последней величиной можно пренебречь в силу маленькой массы добавляемых соединений. Теплоемкость воды пропорциональна её массе. Таким образом, получаем уравнение $Q = (C_{\text{кал}} + C_{\text{воды}} \cdot m_{\text{воды}}) \cdot \Delta t$ (**3 балла**). Удельную теплоемкость воды находим в литературе, её массу можно измерить. Теплоемкость калориметра напрямую не измеряется, для её определения и нужен эксперимент с эталоном (**3 балла**). Одинаковые условия растворения эталона и определяемого образца означают, что теплоёмкость системы остается неизменной, значит отношение тепловых эффектов равно отношению изменений температур. $Q_{\text{раств}} : -284 = 0,32 : -0,60$ Откуда $Q_{\text{раств}}$ исследуемого образца получается равным $151,5$ Дж/г (**3 балла**).

Это значение лежит в интервале между теплотой растворения моногидрата и тригидрата (2 балла). Считая, что они не влияют друг на друга при растворении, и обозначив массовую долю тригидрата за x , можно вычислить его содержание по уравнению $217,88(1-x) + 71,23x = 151,5$, $x = 0,45$ (2 балла). Исходя из соотношения масс солей можно вычислить массовую долю воды в образце. $\omega_{\text{воды}}(\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 18/177,5 = 0,101$; $\omega_{\text{воды}}(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 3 \cdot 18/213,5 = 0,253$; $\omega_{\text{воды}}(\text{в образце}) = 0,101 \cdot 0,55 + 0,253 \cdot 0,45 = 0,169 \approx 17\%$ (4 балла).

(20 баллов)

б. Перед вами первый вариант периодической таблицы Дмитрия Ивановича Менделеева, опубликованный в 1969 году. В отличие от наших современных таблиц, в этой версии группы элементов расположены в горизонтальных рядах, а элементы упорядочены по их атомным массам (принятым в то время).

Таблице предстояла ещё серьёзная эволюция, и в ней можно обнаружить ряд ошибок.

Одна ошибка – это масса элемента индия (In). Чтобы определить атомную массу индия, известное количество металла растворили в соляной кислоте, добавили раствор гидроксида натрия, а затем прокалили, получив тугоплавкий белый порошок.

Напишите устаревшее название подобных тугоплавких соединений (оно сохранилось в обозначении некоторых групп элементов). Приведите уравнения осуществлённых в ходе анализа реакций.

Когда Менделеев создал свою первую таблицу, индий был только что открыт, и его химические свойства не были полностью изучены. Какую валентность ошибочно приписали индию, судя по приведенному атомному весу? Ответ обоснуйте расчетами.

Менделеев также неправильно поместил таллий (Tl) с щелочными металлами. Причиной тому было то, что таллий хоть и может образовывать соли в степени окисления +3, но гораздо более устойчивой является степень окисления +1. В связи с этим, например, добавление иодида калия к растворам Tl^{3+} не приводит к образованию иодида таллия(III), а сопровождается образованием желтого осадка и интенсивно окрашенного раствора. Приведите уравнение реакции нитрата таллия(III) с иодидом калия. Тем не менее, черно-коричневое соединение с формулой TlI_3 существует. Изобразите его структуру, укажите степени окисления атомов.

В современном виде в таблице Менделеева закончен 7 период, но ученые работают над новыми открытиями. А какой номер будет у следующего элемента, соответствующего благородному газу?

ОТВЕТ: Анализ металла проводился по следующим реакциям: $2\text{In} + 6\text{HCl} = 2\text{InCl}_3 + 3\text{H}_2$; $\text{InCl}_3 + 3\text{NaOH} = \text{In}(\text{OH})_3 + 3\text{NaCl}$; $2\text{In}(\text{OH})_3 = \text{In}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ (3 уравнения по 3 балла).

Конечный продукт – тугоплавкий оксид, которые раньше называли землями (2 балла), отсюда названия щелочноземельных и редкоземельных элементов. Приведенный в таблице атомный вес индия – 75,6 г/моль. В этом случае в 1 г индия содержалось бы 0,0132 моль его атомов. Масса оксида получится та же самая, тогда молярная масса, приходящаяся на 1 моль индия в нем, будет равна $1,21/0,0132 = 91,5$ (г/моль). То есть на один атом индия приходится дополнительно $91,5 - 75,6 = 15,9$ (г/моль), соответствующие одному атому кислорода. Значит предполагавшаяся формула была InO , а индию приписывали валентность (II) (5 баллов). Реакция таллия(III) с иодидом сопровождается окислением последнего до молекулярного иода: $\text{Tl}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{KI} = \text{TlI} + \text{I}_2 + 3\text{KNO}_3$ или $\text{Tl}(\text{NO}_3)_3 + 4\text{KI} = \text{TlI} + \text{KI}_3 + 3\text{KNO}_3$ (5 баллов). Формуле TlI_3 соответствует трииодид таллия(I) со структурой $\text{Tl}^+ [\text{I}-\text{I}-\text{I}]^-$ (3 балла). Степень окисления +1 у таллия и $-1/3$ у иода

(1 балл). Заполнение электронной оболочки до следующего благородного газа примечательно тем, что должен будет заполняться новый тип орбитали – *g*-орбиталь, на которой может поместиться 18 электронов. Таким образом, номер будет равен $118 + 2 + 6 + 10 + 14 + 18 = 168$ **(5 баллов)**. Если учтен только *f*-уровень (номер будет 150), выставляется 2 балла.

(30 баллов)

Изумруд 2024/25 уч. год

Химия 10 класс

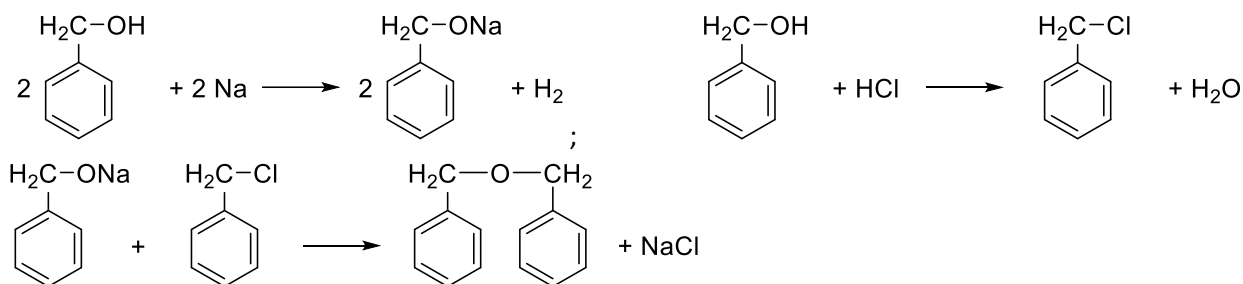
1. 100 г раствора сульфата некоторого металла с массовой долей соли 34,2 % содержат в сумме 0,5 моль ионов (катионов и анионов). Считая диссоциацию полной, определите металл.

ОТВЕТ: В общем виде сульфат любого металла можно записать в виде $M_2(SO_4)_x$. При диссоциации соли образуется $(2 + x)$ ионов, тогда количество вещества соли равно $0,5/(2 + x)$. Масса соли составляет $100 \cdot 0,342 = 34,2$ грамма, тогда можно выразить её молярную массу: $M = 34,2 \cdot (2+x)/0,5 = 68,4 \cdot (2+x)$. Для определения металла выразим его атомный вес, вычтя вес сульфат ионов из общей массы: $A_M = (68,4 \cdot (2+x) - 96x)/2 = 68,4 - 13,8x$. Перебирая x , получим: $x = 1$, $A_M = 54,6$ (близко к марганцу, но не соответствует валентность); $x = 2$, $A_M = 40,8$ (близко к кальцию, но сульфат кальция нерастворим); $x = 3$, $A_M = 27$ (алюминий, подходит по всем параметрам); $x = 4$, $A_M = 13,2$ (ничего не подходит). Металл – алюминий (**5 баллов**). Ответ, состоящий только из названия металла, не оценивается. Ответ с расчетами, отталкивающийся от сульфата алюминия (без перебора валентности), оценивается в 3 балла.

(5 баллов)

2. Органическое соединение реагирует с металлическим натрием с выделением газа, а с соляной кислотой образует жидкость с резким запахом и слезоточивым действием. Два полученных продукта, реагируя друг с другом, дают жидкость со слабым фруктовым запахом, при окислении перманганатом калия образующую только бензойную кислоту. Напишите структурные формулы всех неизвестных соединений.

ОТВЕТ:



Каждая правильная структурная формула оценивается в **2,5 балла**.

(10 баллов)

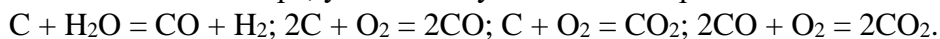
3. К 50 г смеси этилформиата и этилацетата добавили 131,15 мл раствора каустической соды ($\omega = 20\%$, $\rho = 1,22$ г/мл). После окончания реакции раствор нейтрализовали, затратив 100 мл серной кислоты с концентрацией 1 моль/л. Приведите уравнения описанных реакций. Рассчитайте массовые доли веществ в исходной смеси.

ОТВЕТ: $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3 + \text{NaOH} = \text{HCOONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1 балл); $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{NaOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1 балл); $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (1 балл); $n(\text{NaOH}_{\text{общ}}) = 131,15 \cdot 1,22 \cdot 0,2/40 = 0,8$ моль (2 балла); $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \cdot 0,1 = 0,1$ моль (1 балл); $n(\text{NaOH}_{\text{р}}) = 0,8 - 0,2 = 0,6$ моль (1 балл); $m_{\text{эа}}/88 + (50 - m_{\text{эа}})/74 = 0,6$ (2 балла); $m_{\text{эа}} = 35,2$ г (2 балла); $\omega_{\text{эа}} = 35,2 \cdot 100/50 = 70,4\%$ (2 балла); $\omega_{\text{эф}} = 29,6\%$ (2 балла).

(15 баллов)

4. Водяной пар в смеси с воздухом пропускали над углем при 1000 К. Получившаяся смесь газов состоит из двух горючих и двух негорючих компонентов. Средний расход угля на производстве – 108 кг/ч, объем подаваемой в печь газовой смеси – 536 м³/ч (при 250 °С), а объем выходящей из печи газовой смеси – 1740 м³/ч. Приведите состав производимого газа и содержание (в мольных %) всех его компонентов. Какое соотношение пара и воздуха, подают в печь? Зачем в пар добавляют воздух? Воздух считайте смесью 80 % азота и 20 % кислорода.

ОТВЕТ: В смеси пара, угля и воздуха возможны реакции:



Молекулярный азот является устойчивым к окислению, поэтому в реакцию вступать не должен. Учитывая число компонентов на выходе из печи, весь кислород и вся вода должны прореагировать, а её качественный состав: N₂, CO₂ – два негорючих компонента, CO, H₂ – два горючих (**2 балла**). При постоянных скоростях расхода состав продуктов не должен зависеть от времени, примем его за 1 час. Рассчитаем количества вещества угля и газов. Важно учесть, что температура их отличается от нормальной: на входе – 250 °С (523 К), на выходе – 1000 К. $v(C) = 108000/12 = 9000$ (моль) (**1 балл**); $v(\text{вх. г.}) = 101325 \cdot 536 / (8,31 \cdot 523) = 12496$ (моль) (**1 балл**); $v(\text{вых. г.}) = 101325 \cdot 1740 / (8,31 \cdot 1000) = 21216$ (моль) (**1 балл**). Для определения соотношения компонентов надо учесть материальный баланс: количество азота в четыре раза больше количества кислорода (*a*) и не меняется в ходе процесса, количество углерода равно суммарному количеству угарного (*b*) и углекислого (*c*) газов, количество водорода (*d*) равно количеству воды (пара) (**1 балл**), количество атомов кислорода в воде и кислороде воздуха равно количеству атомов кислорода в угарном и углекислом газе. Составим и решим систему уравнений (составление каждого уравнения связи – **2 балла**, решение системы и нахождение соотношений – **5 баллов**):

$$\left\{ \begin{array}{l} b + c = 9000 \\ 5a + d = 12496 \\ 4a + b + c + d = 21216 \\ 2a + d = b + 2c \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} a = 280 \\ b = 6344 \\ c = 2656 \\ d = 11096 \end{array} \right.$$

Тогда состав производимого газа: (4·280/21216 = 5,3%) N₂, (2656/21216 = 12,5%) CO₂, (6344/21216 = 29,9%) CO, (11096/21216 = 52,3%) H₂. Соотношение пара и воздуха будет равно (11096/12496 = 88,8%) пара и (5·280/21216 = 11,2%) воздуха.

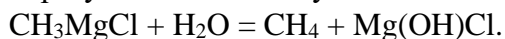
Как видно из полученных результатов, основной реакцией является получение водорода и угарного газа, а эта реакция является эндотермичной. Воздух (кислород) добавляют, чтобы компенсировать тепловой баланс системы за счет экзотермических реакций с получением CO₂ (**1 балл**).

(20 баллов)

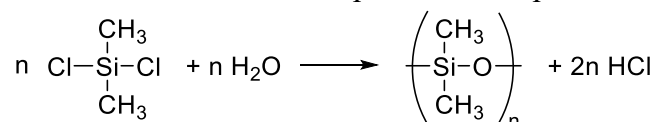
5. Газообразное соединение **A**, обладающее сладковатым запахом, может реагировать с некоторыми простыми веществами. Так, с металлическим натрием образуется газ содержанием углерода 80,0 %. С металлическим магнием в эфире образуется раствор соединения **C**, а с кремнием при нагревании – жидкость **D**. Полученные соединения очень по-разному ведут себя при обработке водой. Газ **B** в воде не растворяется и не реагирует с ней. Из соединения **C** получается газ **E**, а из **D** – аморфный осадок **F** с содержанием

углерода 32,4 %. Приведите формулы соединений **A–F**. Напишите уравнения гидролиза **C** и **D**. Каким медицинским действием обладает соединение **F**?

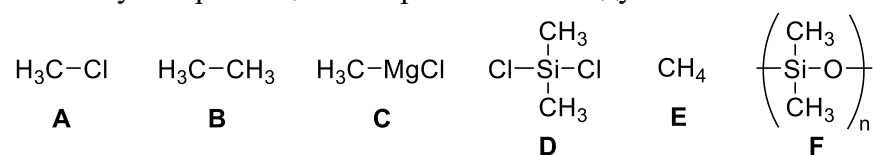
ОТВЕТ: Отталкиваться в ответе легче всего от газа **B**, для которого делаем расчет молярной массы на один углерод: $M = 12 \cdot n / 0,8 = 15n$ (**1 балл**). Такая масса соответствует метильной группе, тогда **B** – этан. Получение алканов под действием металлического натрия – реакция Вюрца. Для этана исходным веществом будет, например, хлорэтан. С магнием образуется реактив Гриньяра: CH_3MgCl , **C**. При гидролизе реактива Гриньяра образуется соответствующий алкан:



Структуру **D** и **F** можно предположить по содержанию углерода в **F**. Молярная масса его будет выражаться как $M = 12 \cdot n / 0,324 = 37n$ (**1 балл**). Учитывая, что в составе, скорее всего, должен быть кремний, надо предполагать минимум два углерода. Вычтя из 74 массу двух метильных групп и кремний, получим 16, кислород. То есть простейшая формула **F** $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$. Тогда кремний должен прореагировать с двумя молекулами хлорметана, а формула **D** – $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$. Для формулы **F** можно предположить и молекулярную структуру, но она не будет устойчивой, **F** – полимер, полидиметилсилоксан. Уравнение гидролиза:



Наличие полярных и неполярных групп делают **F** хорошим сорбентом, а высокая молярная масса и пористая структура нормализуют перистальтику кишечника, **F** используют при пищевых отравлениях и вздутии живота.



Каждая загаданная структура оценивается в **3 балла**, уравнения гидролиза по **2 балла**, применение **F** - **1 балл**.

(25 баллов)

6. В одной далекой-далекой галактике племя тускенов обнаружило рудное месторождение оксидного типа. Они взяли кусок минерала массой 152 вомп, смешали с древесным углем и развели жаркий огонь. После охлаждения извлекли из золы блестящий пористый образец массой 110 вомп. Установите состав минерала, обосновав расчетами. Приведите название минерала, принятое в нашей галактике. Напишите уравнение(я) реакции(й), протекающей(их) при выполнении описанного эксперимента.

ОТВЕТ: $\omega(\text{O}) = (152-110)/152 = 0,2763$ (**3 балла**); в образце 100 г 27,63 г кислорода, $n(\text{O}) = 27,63/16 = 1,727$ моль или 3,454 моль-экв (**3 балла**). $M(\text{экв Me}) = (100-27,63)/3,454 = 20,95$ г/моль-экв (**4 баллов**). Целочисленные эквиваленты не дают подходящей молярной массы. $M = 8/3M(\text{экв Me}) = 8/3 \cdot 20,95 = 55,87$ г/моль (**5 баллов**), это железо, Fe_3O_4 (**4 баллов**), магнетит (магнитный железняк) (**2 балла**). $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{C} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}$ (**4 балла**)

(25 баллов)

Изумруд 2024/25 уч. год

Химия 11 класс

1. Предложите формулу органического соединения, содержащего более 35 % элемента водорода по массе. Приведите уравнение реакции получения предложенного соединения.

ОТВЕТ: CD_4 – 40 % водорода (**3 балла**); $\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{D}_2\text{O} = 4\text{Al}(\text{OD})_3 + 3\text{CD}_4$ (**2 балла**)

(**5 баллов**)

2. В некоторой неустойчивой кислород- и серосодержащей кислоте массовая доля водорода составляет 3,03 %. Установите формулу данной кислоты. Назовите ее, изобразите структурную формулу. Приведите пример применения ее солей на практике.

ОТВЕТ: Если водород один: $1/(32x+16y) = 3,03/96,97$, $(32x+16y) = 32$ – не может быть, одна сера уже 32 г/моль. Если водорода два: $2/(32x+16y) = 3,03/96,97$, $(32x+16y) = 64$; $x = 1$, $y = 2$, H_2SO_2 (**4 балла**). Имеет две преимущественных таутомерных формы: HO-S-OH сульфоксиловая кислота (гипосернистая кислота, дигидроксид серы) или HO-SO-H сульфеновая кислота (любой из вариантов – **4 балла**). Используется в качестве восстановителя (**2 балла**)

(**10 баллов**)

3. Пробу ортофосфатов титровали стандартным раствором кислоты. В начале индикатором служил фенолфталеин, который обесцветился после добавления 7,0 мл титранта. Затем добавили метиловый оранжевый, и для изменения его окраски потребовалось ещё 14,0 мл раствора кислоты. Определите pH исходной пробы. Показатели кислотности ортофосфорной кислоты: $\text{pK}_{\text{a}1} = 2,16$; $\text{pK}_{\text{a}2} = 7,21$; $\text{pK}_{\text{a}3} = 12,30$. Цветовые переходы индикаторов происходят в интервалах pH: 8,2–10 (фенолфталеин), 3,1–4,4 (метиловый оранжевый).

ОТВЕТ: Раз изменяется окраска и фенолфталеина и метилового оранжевого, значит, смесь состоит из Na_3PO_4 и Na_2HPO_4 (**3 балла**). На взаимодействие с Na_3PO_4 израсходовано 7 мл до Na_2HPO_4 и еще 7 мл до NaH_2PO_4 (**3 балла**). На взаимодействие с Na_2HPO_4 остается 7 мл кислоты, следовательно, количества (и концентрации) Na_3PO_4 и Na_2HPO_4 равны (**3 балла**). $\text{K}_{\text{a}3} = [\text{PO}_4^{3-}] \cdot [\text{H}^+] / [\text{HPO}_4^{2-}]$;
 $[\text{H}^+] = \text{K}_{\text{a}3} \cdot [\text{HPO}_4^{2-}] / [\text{PO}_4^{3-}]$ (**3 балла**);
 $\text{pH} = \text{pK}_{\text{a}3} - \lg([\text{HPO}_4^{2-}] / [\text{PO}_4^{3-}]) = 12,3$ (**3 балла**).

(**15 баллов**)

4. Изучение кинетики реакций может прояснить её механизм, дать информацию об энергетических параметрах связей или влиянии заместителей на устойчивость промежуточных частиц. Рассмотрим гидролиз мочевины в воде. Как было выяснено, реакция начинается с изомеризации мочевины в цианат аммония, который затем относительно быстро гидролизуется до карбоната аммония. Для исследования кинетики процесса выбирают свойство, которое достаточно сильно изменяется при его протекании. Какое свойство раствора удобно измерять в случае гидролиза мочевины? Изомеризация является реакцией первого порядка, и изменение концентрации мочевины во времени

описывается уравнением $\ln(c/c_0) = -kt$, где c – концентрация, k – константа скорости, t – время реакции. Вам представлен график зависимости измеряемой величины от времени в координатах приведенного кинетического уравнения. Рассчитайте константу скорости гидролиза. Первую точку (значение измеряемой величины в момент начала реакции) трудно измерить экспериментально, так как операции по запуску процесса и сборке прибора требуют какого-то времени. Как можно определить это значение уже после проведения эксперимента? Вычислите L_0 по приведённым вам данным. Величина L_∞ составляет 2,100. Мы рассмотрели переход мочевины в цианат аммония, а кто впервые описал обратный процесс? Какое значение для химии имела эта реакция?

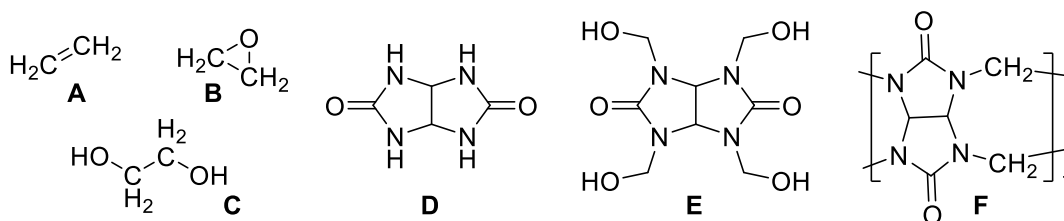
ОТВЕТ: При гидролизе мочевины молекулярное соединение переходит в ионное, поэтому будет расти электропроводность (падать сопротивление) раствора (**3 балла**). Образование карбоната может натолкнуть на мысль измерять pH раствора, но равновесие будет довольно сложным, кроме того, попутно образуется ион аммония, среда будет буферной, pH будет изменяться неравномерно. Так как электропроводность в конце эксперимента максимальная, но в начальный момент не равна нулю, концентрация мочевины будет пропорциональна разности электропроводностей $c = K \cdot (L_\infty - L_t)$. Для расчета константы скорости надо заметить, что в логарифмических координатах функция концентрации от времени имеет линейный характер: $\ln(c/c_0) = -kt$; $\ln(K \cdot (L_\infty - L_t) / K \cdot (L_\infty - L_0)) = -kt$; $\ln((L_\infty - L_t) / (L_\infty - L_0)) = -kt$; $\ln(L_\infty - L_t) - \ln(L_\infty - L_0) = -kt$; $\ln(L_\infty - L_t) = \ln(L_\infty - L_0) - kt$. Тогда в приведенных на графике координатах константа скорости будет соответствовать угловому коэффициенту, взятому с обратным знаком. Для определения углового коэффициента можно просто провести прямую на графике так, чтобы она располагалась на наименьшем расстоянии от большинства точек. По разметке на графике затем находим координаты двух точек и вычисляем константу как $k = (\ln(L_\infty - L_2) - \ln(L_\infty - L_1)) / (t_2 - t_1)$. Должно получиться значение, близкое к $k = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ (**7 баллов**). Первую точку при построении прямой учитывать не нужно. Наоборот, для вычисления L_0 необходимо продлить прямую до пересечения с осью ординат, и из значения этой точки провести расчет. Такой метод в математике называется экстраполяция (**2 балла**). Искомая точка имеет ординату примерно 0,7063, что равно $\ln(L_\infty - L_0)$, откуда $L_0 = L_\infty - e^{0,7064} = 2,100 - 2,027 = 0,073$ (**6 баллов**). Расчет по значению 0,7055 – **2 балла**. Переход цианата аммония в мочевины впервые описал Ф. Вёлер (**1 балл**). Этот эксперимент был первым примером перехода неорганического соединения в органическое, что опровергло принцип витализма и дало толчок к формированию единой химической концепции (**1 балл**).

(20 баллов)

5. Глиоксаль или этандиаль – очень активный альдегид, способный легко взаимодействовать с нуклеофильными реагентами. Он легко присоединяет воду, и существует в растворе, в основном, в форме 1,1-диола или циклических ацеталей. В промышленности глиоксаль получают из газа **A** (легче воздуха) путем его каталитического окисления, гидратации промежуточного продукта **B** и ещё одного каталитического окисления. При взаимодействии с мочевиной, из глиоксаля образуется бициклическое соединение **D** ($\omega_N = 39,4\%$). В реакции **D** с формальдегидом в зависимости от условий и соотношения реагентов могут образоваться разные продукты. В частности, в основной среде было выделено соединение **E** ($\omega_N = 21,4\%$), которое используется для производства несминаемой ткани. В кислой среде из **D** и формальдегида можно получить

соединение **F** ($\omega_N = 33,7\%$) с необычной структурой, которое очень плохо растворяется в воде, но заметно лучше – в растворе CsCl. В масс-спектре такого раствора основной сигнал дает катион с $m/z = 1295.0$ а.е.м. Приведите структурные формулы соединений **A–F**. Почему хлорид цезия увеличивает растворимость соединения **F**?

Получение глиоксаля представляет собой каталитическое окисление этилена с последующим гидролизом образовавшегося эпоксида (структуры **A–C** по **2 балла**). Для соединений полезно вычислить молярную массу, приходящуюся на один азот: $M = 14n/\omega_N$; $M(\mathbf{D}) = 35,5n$; $M(\mathbf{E}) = 65,4n$; $M(\mathbf{F}) = 41,5n$ (по **1 баллу**). Рассуждая о возможной структуре **D**, понятно, что количество азота должно быть четным, но при $n=2$, получим 71 г/моль, что тоже невозможно, так как нечетная масса может быть только с нечетным числом атомов азота. Поэтому минимальное количество атомов азота – 4, $M = 142$ г/моль. Вычитая массу двух молекул мочевины и глиоксаля, получим –36. Это соответствует выделению двух молекул воды. Учитывая нуклеофильный характер атома азота, можно предположить образование азотных аналогов ацеталей, представленных в условии задачи. Более выгодным будет образование пятичленных циклов. При сохранении количества азота, молярная масса **E** отличается от **D** на четыре молекулы формальдегида. Логично предположить присоединение по четырем атомам азота (структуры **D** и **E** по **3 балла**). Молярная масса **F** отличается от **D** на два атома углерода, значит в реакцию вступило только две молекулы формальдегида, но при этом отщепилась вода. Такой процесс мог произойти только межмолекулярно. Кроме того, для удовлетворения составу структура должна получиться циклической $(C_6H_6N_4O_2)_n$ (**3 балла**). Установить размер цикла помогает массовое число катиона в растворе CsCl, из которой надо вычесть массу иона цезия, так как сказано, что именно он переводит в **F** раствор. Число звеньев в цикле $(1295 - 133)/166 = 7$ (**1 балл**). Ион цезия увеличивает растворимость кукурбит[7]урилла (**F**) за счет хорошего соответствия его радиуса внутренней полости цикла и относительно сильного электростатического взаимодействия с электроотрицательными атомами. Получается, органические молекулы приобретают одноименный заряд, и кристаллическая структура ослабевает (**1 балл**).



(20 баллов)

6. При нагревании с разбавленным раствором гидроксида натрия ядовитого вещества **A** образуется раствор трех солей **B**, **C** и **D** в мольном соотношении 1:2:3. При последовательном действии на полученный раствор нитратом кальция и нитратом серебра выпадает соответственно 27,22 и 28,66 г осадка. Если поменять порядок добавления реактивов, то выпадет соответственно 70,6 и 11,71 г осадков. И в первом, и во втором случае анионы солей **B**, **C** и **D** осаждаются полностью. Установите состав соединений **A–D**. Приведите уравнения всех реакций.

ОТВЕТ: По таблице растворимости, растворимая соль серебра и не растворимая кальция – фторид. $n(\text{CaF}_2) = 11,71/78 = 0,15$ моль; $n(\mathbf{F}) = 0,3$ моль (**2 балла**). $m(\text{CaX}) = 27,22 - 11,71 =$

15,51 г (**2 балла**). Количество вещества потенциально возможных солей: $n(\text{CaSO}_3) = 0,129$ моль; $n(\text{CaSO}_4) = 0,114$ моль; $n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,05$ моль; $n(\text{CaCO}_3) = 0,155$ моль; $n(\text{CaSiO}_3) = 0,133$ моль. Только фосфат кальция дает количество аниона, кратное фтору: $n(\text{P}) = n(\text{PO}_4^{3-}) = 0,1$ моль (**2 балла**). Значит **В** – Na_3PO_4 (**3 балла**), **Д** – NaF (**3 балла**). $m(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 0,1 \cdot 419 = 41,9$ г, $m(\text{AgX}) = 70,6 - 41,9 = 28,7$ г (**2 балла**), $n(\text{AgX}) = 0,2$ моль из мольных соотношений. $M(\text{AgX}) = 28,7/0,2 = 143,5$ г/моль (**2 балла**). **С** – NaCl (**3 балла**), **А** – PF_3Cl_2 (**3 балла**). $\text{PF}_3\text{Cl}_2 + 8\text{NaOH} = \text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{NaF} + 2\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O}$ (**4 балла**); $2\text{NaF} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = \text{CaF}_2 + 2\text{NaNO}_3$ (**1 балл**); $2\text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{NaNO}_3$ (**1 балл**); $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ (**1 балл**); $\text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{AgNO}_3 = \text{Ag}_3\text{PO}_4 + 3\text{NaNO}_3$ (**1 балл**)

(30 баллов)