

Олимпиада «БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» по химии
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР 2022/23. *Время выполнения – 90 минут*

1 вариант

10 класс

Задача 10-1

Смесь алкана А и алкена Б объемом 11.2 л (н.у.) обесцвечивает 1 кг бромной воды (массовая доля брома 3.2%), при этом образуется 20.93 мл тяжелой жидкости с плотностью 1.93 г/мл. Если газ, не поглотившийся бромной водой, подвергнуть исчерпывающему (с участием всех связей С-Н) хлорированию избытком хлора при облучении (20°C), то получится жидкий органический продукт В с содержанием углерода 11.25% (масс.). Если вместо хлора в тех же условиях применить более активный фтор, то в алкане происходит разрыв всех С-С и С-Н связей и образуются только два газообразных фторсодержащих продукта, массовая доля фтора в которых составляет 86.36 и 95%. Определите вещества А – Д, найдите количество вещества алкана А, составьте уравнения реакций.

Решение



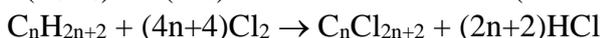
$$v(Br_2) = 1000 \cdot 0.032 / 160 = 0.2 \text{ моль.}$$

$$M(\text{алкена}) = 1.93 \cdot 20.93 / 0.2 - 160 = 42 \text{ г/моль. Алкен}$$

(Б) – это пропен.

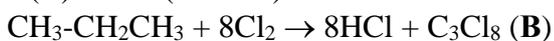


$$v(C_3H_6) = v(Br_2) = 0.2 \text{ моль. Значит } v(\text{алкана}) = 11.2 / 22.4 - 0.2 = \mathbf{0.3 \text{ моль.}}$$



$$\text{Расчет формулы } C_nCl_{2n+2}: M(C_nCl_{2n+2}) = 12n + 71n + 71 = 83n + 71$$

$$\omega(C) = 12n / (83n + 71) = 0.1125 \quad n = 3 \quad \text{Алкан – это пропан (А)}$$



Фторирование пропана протекает энергично, неселективно и сопровождается расщеплением всех связей С-С и С-Н:

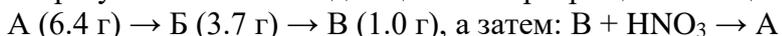


Задача 10-2

Термогравиметрический метод анализа (ТГА) основан на измерении потери массы вещества при нагревании на воздухе и позволяет делать выводы об изменениях, происходящих с веществом. Ниже приведены результаты ТГА некоторого кристаллогидрата А (температура, масса образца): 20°C (6.4 г); 70° (6.4); 80° (6.4); 120° (3.7); 130 (3.7); 290 (3.7); 300 (1.0); 500 (1.0); 700 (1.0). При 300°C замечено выделение бурого газа. Конечный твердый продукт, представляющий бинарное вещество, можно растворить в разбавленной азотной кислоте, и при высушивании раствора при комнатной температуре остаются кристаллы вещества А, содержащего 9.37% металла, который имеет степень окисления +2. Определите вещества на всех стадиях анализа и составьте уравнения реакций описанных процессов.

Решение

По результатам ТГА видна цепочка превращений вещества А:



Исходное вещество А – кристаллогидрат нитрата металла. Известно, что нитраты металлов термически разлагаются либо до нитритов, либо до оксидов, либо до металлов.

$$\text{Найдем массу металла в кристаллогидрате А: } m(Me) = 6.4 \cdot 0.09375 = 0.6 \text{ г.}$$

Значит продукт В термораспада - бинарное соединение - оксид металла MeO.

$$1 \text{ г оксида MeO содержит } 0.6 \text{ г металла и } 0.4 \text{ г кислорода. } v(Me) = v(O) = 0.025 \text{ моль. } M(Me) = 0.6 / 0.025 = 24. \text{ Металл - магний.}$$

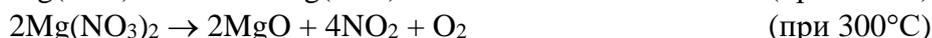
Определим молярные массы магниевых производных А, Б, В.

$M(B) = 1.0/0.025 = 40$ г/моль. Вещество В - это MgO.

$M(B) = 3.7/0.025 = 148$ г/моль. Вещество Б - это $Mg(NO_3)_2$.

$M(A) = 6.4/0.025 = 256$ г/моль. Вещество А – это $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$.

Уравнения разложения по стадиям:



Задача 10-3

Соли А и В окрашивают пламя горелки в фиолетовый цвет. Черно-фиолетовые кристаллы соли А хорошо растворяются в воде с образованием фиолетового раствора. При нагревании 0.158 г А выделяется 11.2 мл (н.у.) газа Х. Твердое вещество С – один из продуктов разложения А – является катализатором разложения соли В. Если нагревать 0.245 г соли В в присутствии соединения С, то образуется 0.149 г соли D и 67.2 мл газа Х (н.у.). Если соль В нагревать без соединения С, то газ Х выделяться не будет. Соли А и В реагируют с соляной кислотой, при этом в обоих случаях выделяется газ Y и соль D.

1. Расшифруйте вещества А – D и газы Х и Y.

2. Составьте уравнения реакций, о которых идет речь.

Ответ подтвердите соответствующими расчетами.

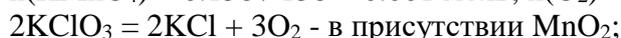
Решение

А - $KMnO_4$; В - $KClO_3$; С - MnO_2 ; D - KCl ; Х - O_2 ; Y - Cl_2 .

Уравнения реакций

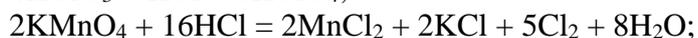


$$n(KMnO_4) = 0.158 / 158 = 0.001 \text{ моль}; n(O_2) = 11.2 \cdot 10^{-3} / 22.4 = 0.0005 \text{ моль};$$



$$n(KClO_3) = 0.245 / 122.5 = 0.002 \text{ моль}; n(O_2) = 67.2 \cdot 10^{-3} / 22.4 = 0.003 \text{ моль};$$

$$n(KCl) = 0.149 / 74.5 = 0.002 \text{ моль};$$



Задача 10-4

В трех пронумерованных пробирках находятся растворы нескольких солей. К растворам в первой и второй пробирке по каплям добавили раствор гидроксида калия, а к третьей – соляную кислоту. В первой пробирке выпал белый осадок А, во второй пробирке – белый аморфный осадок Б, в третьей – белый аморфный осадок В. Все осадки разделили на две части. К одной части осадков добавили избыток раствора щелочи, в другую часть осадков – соляную кислоту. Осадок А растворился только в кислоте, осадок Б растворился в растворе щелочи и в кислоте, осадок В растворился только в растворе щелочи. Предложите формулы солей, которые содержались в пронумерованных пробирках, учитывая, что они состоят из следующих ионов: K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} . Составьте уравнение всех описанных химических реакций. Установите формулы осадков А, Б, В. Ответ поясните.

Решение

Возможные варианты:

№ 1 – $MgCl_2$, $CaCl_2$; № 2 – $Al_2(SO_4)_3$; $ZnSO_4$;

№ 3 – Na_2SiO_3 , K_2SiO_3 .

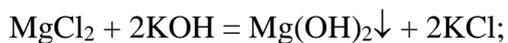
А - $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$; Б - $Al(OH)_3$, $Zn(OH)_2$;

В - SiO_2 или H_2SiO_3 .

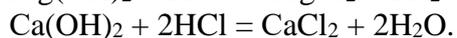
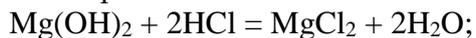
В первой пробирке не могут находиться сульфат-ионы, так как в этом случае выпадет осадок $CaSO_4$. Формально во второй пробирке могут быть хлориды. Силикат- ионы со всеми ионами, кроме натрия и калия образуют труднорастворимые соединения.

Уравнения реакций:

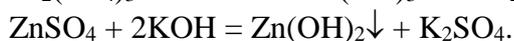
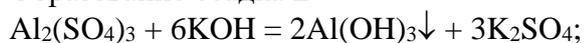
Образование осадка А



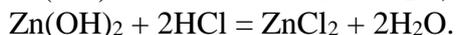
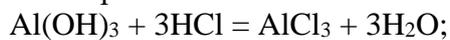
Растворение А в кислоте



Образование осадка Б



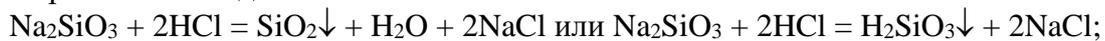
Растворение Б в кислоте



Растворение Б в щелочи



Образование осадка В



Растворение В в щелочи



Олимпиада «БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» по химии
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР 2022/23. *Время выполнения – 90 минут*
2 вариант

10 класс

Задача 10-1

Органическое вещество А, имеющее широкое применение, представляет бесцветную легколетучую жидкость, молекула не имеет плоскости симметрии. Полное сгорание 31 г А в минимально необходимом количестве кислорода привело к образованию только газообразных продуктов (98.46 л при 127°C, давление нормальное). После их охлаждения до 27°C объем снизился до 36.92 л при том же давлении. Продукты полностью поглотили избытком раствора КОН. К полученному раствору добавили нитрат бария до прекращения выпадения белого осадка. В другом опыте продукты поглощали раствором КОН с добавкой H₂O₂, и только потом приливали раствор нитрата бария. Масса осадка, выпавшего из второго раствора, оказалась больше на 8 г. Определите вещество А, составьте уравнения реакций.

Решение

По описанию превращений следует предположить, что органическое вещество А имеет невысокую молярную массу, может включать углерод, водород, серу, кислород. Азот не входит в состав, так как продукты сгорания без остатка поглощаются щелочью.

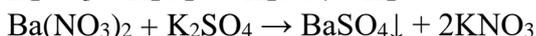
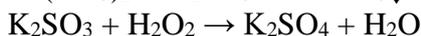
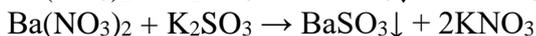
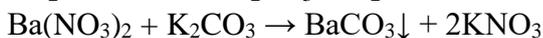
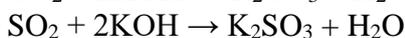
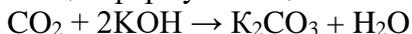
Найдем количество газообразных продуктов при 127° и 27°C.

$$n_1(127^\circ) = PV/RT = 101300 \cdot 0.09846 / (8.314 \cdot 400) = 3 \text{ моль.}$$

$$n_2(27^\circ) = PV/RT = 101300 \cdot 0.03692 / (8.314 \cdot 300) = 1.5 \text{ моль.}$$

Уменьшение количества газов при понижении температуры может указывать на наличие воды в продуктах горения, в этом случае $n(\text{H}_2\text{O}) = 3 - 1.5 = 1.5$ моль.

Общая формула вещества А: C_xH_yS_xO_k. Продукты горения - CO₂, SO₂, H₂O.



Различие масс осадков, выпавших из первого (BaCO₃ и BaSO₃) и второго (BaCO₃ и BaSO₄) растворов, объясняется различием масс BaSO₃ и BaSO₄. Их молярные массы 217 и 233 соответственно. ΔM=16 г.

Определим количество сульфата и сульфита бария:

$$n(\text{BaSO}_4) = n(\text{BaSO}_3) = 8/16 = 0.5 \text{ моль.}$$

$$\text{Определим количество серы и SO}_2: n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = n(\text{BaSO}_4) = 0.5 \text{ моль.}$$

$$\text{Определим массу серы в продуктах сгорания: } m(\text{S}) = 32 \cdot 0.5 = 16 \text{ г.}$$

Определим количество и массу водорода в продуктах горения по количеству воды:

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 3 \text{ моль. } m(\text{H}) = 1 \cdot 3 = 3 \text{ г.}$$

Предположим, что в состав А входят только S, C, H, тогда

$$m(\text{C}) = 31 - 16 - 3 = 12 \text{ г, а } n(\text{C}) = 1 \text{ моль.}$$

$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{S}) = 1 : 0.5 : 3 = 2 : 1 : 6$. Формула вещества А - C₂H₆S. Это этилмеркаптан C₂H₅SH, применяющийся в качестве одоранта природного газа метана.



Задача 10-2

Топочный газ некоторого парового котла содержал по объему 40% водорода, 33% метана, 3% CO₂, 21% CO и 3% азота. Котел используется для превращения воды с температурой

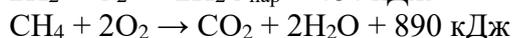
20°C в пар с температурой 100°C. Теплота сгорания метана равна 890 кДж/моль, теплота сгорания CO - 283 кДж/моль, а теплота сгорания водорода с выделением парообразной воды составляет 242 кДж/моль. Теплота испарения воды – 41.4 кДж/моль, теплоемкость воды - 4.2 Дж/г·град. Рассчитайте расход топочного газа (в моль на 1 моль пара), если тепловые потери процесса составляли 50%? Напишите уравнения реакций, протекающих при работе парового котла.

Решение

Найдем тепловые затраты на нагревание 1 моль жидкой воды на 80°C (от 20 до 100°): $Q(\text{нагр воды}) = 4.2 \cdot 18 \cdot 80 = 6048$ кДж.

Найдем тепловые затраты на испарение 1 моль жидкой воды при 100°C: $Q(\text{исп воды}) = 41.4$ кДж.

Общие тепловые затраты на производство 1 моль пара из воды при 20° равны $6048 + 41.4 = 6089.4$ кДж без учета потерь, и $6089.4 \cdot 2 = 12179$ кДж с учетом потерь.



Пусть сгорел 1 моль топочного газа. Значит прореагировали 0.4 моль водорода, 0.33 моль метана, 0.21 моль CO.

Выделится теплота $Q = Q_1$ за счет водорода + Q_2 за счет метана + Q_3 за счет CO = $484 \cdot 0.5 \cdot 0.4 + 890 \cdot 0.33 + 566 \cdot 0.5 \cdot 0.21 = 96.8 + 293.7 + 59.43 = 449.93$ кДж.

Определим расход топочного газа (моль на 1 моль пара): $12179/449.93 = 27.07$.

Задача 10-3

В наше время привыкли к тому, что краски бывают любого цвета. Но в древности при изготовлении красок определенного цвета возникали большие проблемы. Самым ценным цветом красок считался голубой. Его было довольно трудно достать. В Древнем Египте для придания краскам этого цвета использовался минерал, который получил соответствующее название – Египетский голубой ($w(\text{Si})=29.89\%$ масс., $w(\text{O})=42.55\%$ масс.). Следы этого минерала нашли даже на короне царицы Нефертити. А в другой части мира в качестве пигмента использовали минерал с современным названием Китайский голубой ($w(\text{Si})=23.75\%$ масс., $w(\text{O})=33.81\%$ масс.). Им была украшена известная археологическая достопримечательность Китая – Терракотовая армия.

1. Установите формулы этих двух пигментов, если известно, что они имеют одинаковый стехиометрический состав, содержат по четыре элемента, причем три элемента общие, а отличительные элементы находятся в одной группе Периодической системы. Также известно, что два элемента в каждом минерале имеют одинаковую степень окисления и их мольное соотношение в обоих минералах равно 1:1.

2. Предложите способ получения пигмента Китайского голубого из распространенных природных соединений и минералов. Запишите уравнение протекающей реакции.

Ответы подтвердите соответствующими объяснениями и вычислениями. В расчетах молярные массы элементов берите с точностью до десятых.

Решение

1. Найдем соотношение кремния и кислорода в минерале Египетском голубом:

$$n(\text{Si}) : n(\text{O}) = 29.89 / 28.1 : 42.55 / 16 = 1.064 : 2.66 = 1 : 2.5 = 2 : 5.$$

Таким образом, в формуле пигмента присутствует фрагмент, кратный Si_2O_5 . С учетом степени окисления Si^{+4} и O^{-2} можно записать: $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$. Голубой цвет в красках часто обусловлен присутствием ионов меди (II). С учетом этого можно записать CuSi_2O_5 . Из условия известно, что оба минерала содержат по четыре элемента и два элемента в каждом минерале имеют

одинаковую степень окисления, а их мольное соотношение в обоих минералах равно 1:1. В этой связи общую формулу минералов можно записать следующим образом:



Найдем молярную массу М в первом минерале:

$$w(\text{Si}) = 4 \cdot 28.1 / (M(\text{M}) + 63.5 + 4 \cdot 28.1 + 10 \cdot 16) = 0.2989.$$

Отсюда находим, что $M(\text{M}) = 40.1$. В состав первого минерала входит кальций. Формула минерала: **CaCuSi₄O₁₀**.

Для второго минерала:

$$w(\text{Si}) = 4 \cdot 28.1 / (M(\text{M}) + 63.5 + 4 \cdot 28.1 + 10 \cdot 16) = 0.2375.$$

Отсюда находим, что $M(\text{M}) = 137.3$. В состав второго минерала входит барий. Формула минерала: **BaCuSi₄O₁₀**.

2. Пигмент BaCuSi₄O₁₀ можно получить твердофазной реакцией из малахита, кремнезема и виверита:



Задача 10-4

При полном сгорании в хлоре некоторого металла, который при данных условиях проявляет степень окисления +3, было израсходовано 6.72 л (н.у.) хлора и образовалось 32.47 г хлорида.

1. О каком металле идет речь? Ответы подтвердите расчетами.

2. Какие степени окисления может проявлять этот металл в соединениях? Ответ проиллюстрируйте примерами.

3. Какую массу диоксида марганца и объем раствора соляной кислоты (плотность 1.15 г/мл) с массовой долей 0.30 необходимо взять для получения хлора для первой реакции, если он образуется с выходом 75%?

Используйте атомные массы, округленные до целых чисел (для хлора – 35.5)

Решение

1. Запишем уравнение реакции:



$$n(\text{Cl}_2) = 6.72 / 22.4 = 0.3 \text{ моль};$$

$$n(\text{MCl}_3) = 2 \cdot 0.3 / 3 = 0.2 \text{ моль};$$

$$M(\text{MCl}_3) = 32.47 / 0.2 = 162.35 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{M}) = 162.35 - 3 \cdot 35.5 = 55.85 \text{ г/моль, следовательно M – это железо.}$$

2. Для железа характерны степени окисления +2, +3, реже +6.

Примеры соединений железа +2: FeO, Fe(OH)₂, K₄[Fe(CN)₆], FeSO₄;

Примеры соединений железа +3: Fe₂O₃, Fe(OH)₃, K₃[Fe(CN)₆], Fe₂(SO₄)₃;

Примеры соединений железа +6: K₂FeO₄.

3.



$$\text{С учетом выхода реакции } n(\text{Cl}_2) = 0.3 / 0.75 = 0.4 \text{ моль};$$

$$n(\text{MnO}_2) = 0.4 \text{ моль, } m(\text{MnO}_2) = 0.4 \text{ моль} \cdot 87 = \mathbf{34.8 \text{ г}};$$

$$n(\text{HCl}) = 0.4 \cdot 4 = 1.6 \text{ моль, } m(\text{HCl}) = 1.6 \text{ моль} \cdot 36.5 \text{ г} = 58.4 \text{ г};$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 58.4 \text{ г} / 0.3 = 194.7 \text{ г, } V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 194.7 / 1.15 = 169.3 \text{ мл.}$$