

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

1 вариант

11 класс

Задача 11-1

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 хлорированию (с участием всех С-Н связей) 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 фтор, то образуются только два газообразных фторсодержащих продукта Г и Д, массовая доля фтора в которых составляет 86.36 и 95%. Определите вещества А – Д, найдите количество вещества алкана А, составьте уравнения реакций.

Решение



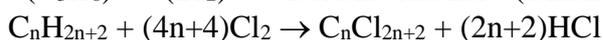
$$v(Br_2) = 1000 \cdot 0.032 / 160 = 0.2 \text{ моль.}$$

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

Алкен (Б) – это пропен.

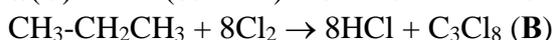


$$v(C_3H_6) = v(Br_2) = 0.2 \text{ моль. Значит } v(\text{алкана}) = 11.2 / 22.4 - 0.2 = \mathbf{0.3 \text{ моль.}}$$



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

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



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

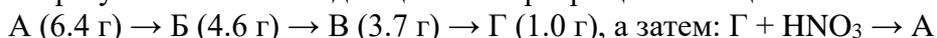


Задача 11-2

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); 90° (4.6); 110° (4.6), 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 Г 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, Г.

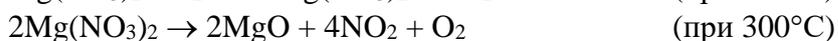
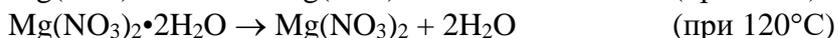
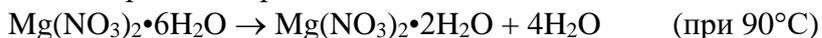
$M(\Gamma) = 1.0/0.025 = 40$  г/моль. Вещество  $\Gamma$  - это  $MgO$ .

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

$M(Б) = 4.6/0.025 = 184$  г/моль. Вещество  $Б$  – это  $Mg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ .

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

Уравнения разложения по стадиям:



### Задача 11-3

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

1. Расшифруйте вещества  $A - D$  и газы  $X$  и  $Y$ .

2. Составьте уравнения реакций, о которых идет речь.

Ответ подтвердите соответствующими расчетами.

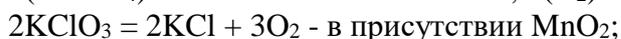
### Решение

$A$  -  $KMnO_4$ ;  $B$  -  $KClO_3$ ;  $C$  -  $MnO_2$ ;  $D$  -  $KCl$ ;  $X$  -  $O_2$ ;  $Y$  -  $Cl_2$ .

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 11-4

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  $A$ , во второй пробирке – белый аморфный осадок  $Б$ , в третьей – белый аморфный осадок  $B$ . Все осадки разделили на две части. К одной части осадков добавили избыток раствора щелочи, в другую часть осадков – соляную кислоту. Осадок  $A$  растворился только в кислоте, осадок  $Б$  растворился в растворе щелочи и в кислоте, осадок  $B$  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  $A$ ,  $Б$ ,  $B$ . Ответ поясните.

### Решение

Возможные варианты:

№ 1 –  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ;

№ 2 –  $Al_2(SO_4)_3$ ;  $ZnSO_4$ ;

№ 3 –  $Na_2SiO_3$ ,  $K_2SiO_3$ .

$A$  -  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$ ;

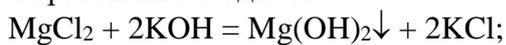
$Б$  -  $Al(OH)_3$ ,  $Zn(OH)_2$ ;

$B$  -  $SiO_2$  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.

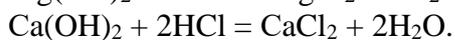
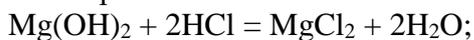
Уравнения реакций:

Образование осадка А

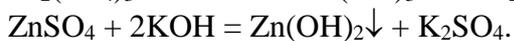
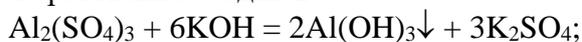


$\text{CaCl}_2 + 2\text{KOH} = \text{Ca}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{KCl}$  - осадок выпадает при большой концентрации соли кальция.

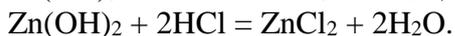
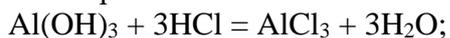
Растворение А в кислоте



Образование осадка Б



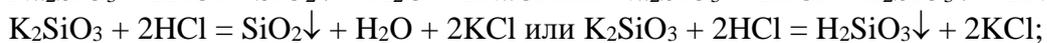
Растворение Б в кислоте



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

11 класс

Задача 11-1

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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 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 вещество А органическое, имеет невысокую молярную массу, может включать углерод, водород, серу, кислород. Азот не входит в состав, так как продукты сгорания без остатка поглощаются щелочью.

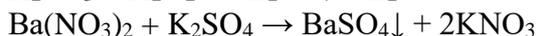
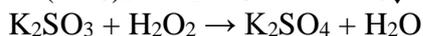
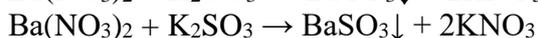
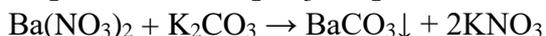
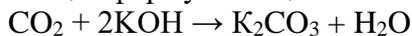
Найдем количество газообразных продуктов при 127° и 27°C.

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

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

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<sub>x</sub>H<sub>y</sub>S<sub>x</sub>O<sub>k</sub>. Продукты горения - CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.



Различие масс осадков, выпавших из первого (BaCO<sub>3</sub> и BaSO<sub>3</sub>) и второго (BaCO<sub>3</sub> и BaSO<sub>4</sub>) раствора, объясняется различием масс BaSO<sub>3</sub> и BaSO<sub>4</sub>. Их молярные массы 217 и 233 г/моль соответственно. ΔM=16 г.

Определим количество сульфата и сульфита бария:

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

Определим количество серы и SO<sub>2</sub>:  $n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = n(\text{BaSO}_4) = 0.5$  моль.

Определим массу серы в продуктах сгорания:  $m(\text{S}) = 32 \cdot 0.5 = 16$  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 - C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>S. Это этилмеркаптан C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>SH, применяющийся в качестве одоранта природного газа метана.



Задача 11-2

Топочный газ некоторого парового котла содержал по объему 40% водорода, 33% метана, 3% CO<sub>2</sub>, 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. Теплота образования воды (пар) составляет 242 кДж/моль, теплота испарения воды – 41.4 кДж/моль, теплоемкость жидкой воды - 4.2 Дж/г·град. Рассчитайте расход топочного газа (в моль на 1 моль полученного пара), если тепловые потери процесса составляли 50%? Напишите уравнения реакций, протекающих при работе парового котла.

### Решение

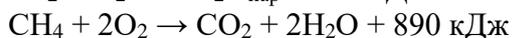
Найдем тепловые затраты на нагревание 1 моль жидкой воды на 80°С (от 20 до 100°):

$$Q(\text{нагр воды}) = 4.2 \text{ Дж/г}\cdot\text{град} \cdot 18 \cdot 80 = 6048 \text{ кДж.}$$

Найдем тепловые затраты на испарение 1 моль жидкой воды при 100°С:

$$Q(\text{исп воды}) = 41.4 \text{ кДж.}$$

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 11-3

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. Пигмент Китайский пурпурный имеет идентичный качественный состав со своим голубым аналогом, но содержание Si составляет 15.92% масс. Установите его формулу, учитывая, что мольное соотношение элементов с одинаковой степенью окисления также равно 1:1.

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  $\text{Si}_2\text{O}_5$ . С учетом степени окисления  $\text{Si}^{+4}$  и  $\text{O}^{-2}$  можно записать:  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ . Голубой цвет в красках часто обусловлен присутствием ионов меди (II). С учетом этого можно записать  $\text{CuSi}_2\text{O}_5$ . 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: **CaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>**.

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: **BaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>**.

2. В состав Китайского пурпурного входят атомы бария, меди, кремния и кислорода: **BaCuSi<sub>x</sub>O<sub>(2x+2)</sub>**.

$$w(\text{Si}) = x \cdot 28.1 / (137.1 + 63.5 + x \cdot 28.1 + (2x+2) \cdot 16) = 0.1592$$

Находим, что  $x = 2$ , формула минерала **BaCuSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>**.

### Задача 11-4

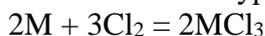
При полном сгорании в хлоре некоторого металла, который при данных условиях проявляет степень окисления +3, было израсходовано 6.72 л (н.у.) хлора и образовалось 32.47 г хлорида.

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)<sub>2</sub>, K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], FeSO<sub>4</sub>;

Примеры соединений железа +3: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>;

Примеры соединений железа +6: K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>.

- 3.



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

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

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

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