

## I. Задания заключительного тура олимпиады «Ломоносов» 5-9 классы

1. Приведите структурную формулу молекулы, содержащей не меньше 4 атомов и имеющей линейное строение (все атомы – на одной линии). Сколько всего электронов в этой молекуле и сколько из них участвует в образовании химических связей? **(10 баллов)**

2. При сильном нагревании метан  $\text{CH}_4$  может параллельно разлагаться по двум путям с образованием: 1) сажи и водорода, 2) ацетилена  $\text{C}_2\text{H}_2$  и водорода. В одном из опытов при разложении метана в реакторе постоянного объема образовались сажа и смесь трех газов. Давление в реакторе после разложения выросло в 1.6 раза по сравнению с первоначальным (при неизменной температуре), а плотность полученной смеси по водороду составила 3.5. Сколько процентов метана превратилось в сажу, а сколько – в ацетилен? **(15 баллов)**

3. Ниже описан старинный лабораторный способ получения газа **X**, имеющего очень неприятный запах. Твердое простое вещество, входящее в состав **X**, смешали с твердым веществом **Y**, состоящим из двух элементов, в массовом соотношении 12 : 5, и полученную смесь нагрели. В результате реакции выделился газ **X**, а твердый остаток представлял собой чистое простое вещество **Z**, причем его масса оказалась в 4 раза меньше массы исходной твердой смеси. Установите формулы всех веществ и напишите уравнение реакции. Обязательно подтвердите ответ расчетом. **(15 баллов)**

4. Образование озона происходит под действием ультрафиолетовых лучей в верхних слоях атмосферы. Механизм реакции включает две стадии:



Запишите уравнение второй реакции. Рассчитайте теплоту образования 1 моля озона из молекулярного кислорода и среднюю энергию связи  $\text{O} \cdots \text{O}$  в молекуле  $\text{O}_3$ . **(15 баллов)**

5. В лаборатории имеются соляная кислота с концентрацией  $\text{HCl}$   $c_1$  моль/л и раствор  $\text{NaOH}$  с концентрацией  $c_2$  моль/л. Если их смешать в объемном соотношении 3 : 2, то образуется раствор с  $\text{pH} = 1$ , а при смешивании в объемном соотношении 4 : 3 – раствор с  $\text{pH} = 7$ . Найдите значения  $c_1$  и  $c_2$ . В каком объемном соотношении надо смешать исходные растворы, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 0$ ? Считайте, что при смешивании растворов их объемы суммируются. **(20 баллов)**

*Справочная информация:*  $\text{pH} = 7$  – нейтральная среда; при  $\text{pH} = 0$ ,  $[\text{H}^+] = 1$  моль/л; при  $\text{pH} = 1$ ,  $[\text{H}^+] = 0.1$  моль/л.

6. Для получения пленок металлов используют метод химического осаждения из газовой фазы. Метод основан на том, что некоторые летучие соединения металлов легко разлагаются при нагревании. Одно из таких соединений, **X**, представляет собой желтые кристаллы, нерастворимые в воде. Вещество **X** легко возгоняется, а при нагревании его паров оно полностью разлагается, образуя металл **Y** и бинарное газообразное вещество **Z** (реакция 1). Масса металла **Y** меньше массы **X** в 8.86 раз. При нагревании **X** в атмосфере кислорода (реакция 2) масса твердого вещества уменьшается в 6.20 раз.

Вещество **X** синтезируют взаимодействием иодида металла с веществом **Z** в присутствии цинка (реакция 3). А газ **Z** получают из родственного ему соединения по реакции галогенного обмена (реакция 4). Благодаря своей способности образовывать связи с металлом **Y** вещество **Z** очень ядовито. В воде оно медленно гидролизруется с образованием двух кислот (реакция 5).

Известно, что металл **Y** в комплексе **X** имеет степень окисления 0 и координационное число 5. Установите формулы веществ **X** – **Z**, приведите необходимые расчеты и запишите уравнения всех пронумерованных реакций. **(25 баллов)**

## II. Решение заданий заключительного тура олимпиады «Ломоносов» 5-9 классы

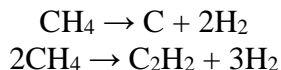
1. Примеры молекул, удовлетворяющих условию:

$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$  (14 электронов, 10 участвуют в химических связях),

$\text{N}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$  (26 электронов, 14 участвуют в химических связях),

$\text{O}=\text{C}=\text{C}=\text{C}=\text{O}$  (34 электрона, 16 участвуют в химических связях).

2. Уравнения реакций:



Пусть из 1 моля метана образовалось  $x$  моль  $\text{C}$  и  $y$  моль  $\text{C}_2\text{H}_2$ , тогда в конечной смеси содержалось  $(1 - x - y)$  моль  $\text{CH}_4$ ,  $(2x + 1.5y)$  моль  $\text{H}_2$  и  $0.5y$  моль  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Давление при постоянной температуре выросло только за счет увеличения числа молей газов (из 1 моля метана образовалось 1.6 моль смеси). По условию,

$$\begin{cases} 1.6 = (1 - x - y) + (2x + 1.5y) + 0.5y \\ M_{\text{см}} = 7 = \frac{m_{\text{см}}}{n_{\text{см}}} = \frac{16 \cdot (1 - x - y) + 2 \cdot (2x + 1.5y) + 26 \cdot 0.5y}{1.6} \end{cases}$$

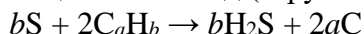
Упростив систему, получим:

$$\begin{cases} 1.6 = 1 + x + y \\ 7 = \frac{16 - 12x}{1.6} \end{cases}$$

Решение системы:  $x = 0.4$ ,  $y = 0.2$ .

Ответ: 40% метана разложилось на сажу и водород, 20% – на ацетилен и водород.

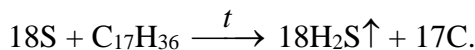
3. Из условия можно догадаться, что  $\text{X}$  – это  $\text{H}_2\text{S}$ . При получении  $\text{H}_2\text{S}$  сера отнимает водород у вещества  $\text{Y}$ , которое в результате превращается в твердое простое вещество  $\text{Z}$ , а  $\text{Y}$  – его водородное соединение. Твердое простое вещество, образующее твердые водородные соединения, – углерод. Осталось найти формулу твердого углеводорода  $\text{Y}$ . Обозначим формулу  $\text{C}_a\text{H}_b$ , тогда уравнение реакции имеет вид (серу запишем как  $\text{S}$ ):



По условию,  $m(\text{S}) : m(\text{C}_a\text{H}_b) = 12 : 5$ .

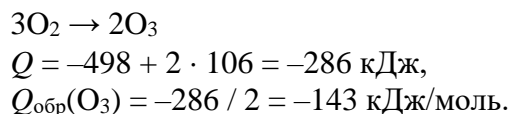
$$\begin{aligned}\frac{32b}{2 \cdot (12a + b)} &= \frac{12}{5} \\ 160b &= 288a + 24b \\ 136b &= 288a \\ 17b &= 36a,\end{aligned}$$

формула углеводорода  $\text{Y} - \text{C}_{17}\text{H}_{36}$ . Уравнение реакции:



Ответ:  $\text{X} - \text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Y} - \text{C}_{17}\text{H}_{36}$ ,  $\text{Z} - \text{C}$ .

4. Если первую реакцию сложить с удвоенной второй, получим термохимическое уравнение:

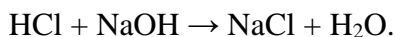


Из первого уравнения следует что энергия связи  $\text{O}=\text{O}$  равна 498 кДж/моль. Во второй реакции разрывается одна связь  $\text{O}=\text{O}$  и образуются две связи  $\text{O}\cdots\text{O}$  в молекуле  $\text{O}_3$ .

$$\begin{aligned}106 &= 2E(\text{O}\cdots\text{O}) - 498 \\ E(\text{O}\cdots\text{O}) &= 302 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

Ответ:  $Q_{\text{обр}}(\text{O}_3) = -143 \text{ кДж/моль}$ ,  $E(\text{O}\cdots\text{O}) = 302 \text{ кДж/моль}$ .

5. Реакция нейтрализации:



Смешаем 3 л раствора HCl и 2 л раствора NaOH, получим раствор объемом 5 л, в котором  $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ М}$ .  $v(\text{H}^+) = 0.5$  моль, следовательно,

$$3c_1 - 2c_2 = 0.5.$$

При смешивании 4 л раствора HCl и 3 л раствора NaOH образуется нейтральный раствор, следовательно,  $v(\text{HCl}) = v(\text{NaOH})$ , т.е.

$$4c_1 = 3c_2.$$

Решая систему уравнений, находим:  $c_1 = 1.5$ ,  $c_2 = 2$ .

Возьмем 1 л раствора HCl и добавим  $x$  л раствора NaOH, получим раствор объемом  $(1+x)$  л, в котором  $[\text{H}^+] = 1 \text{ М}$ .  $v(\text{H}^+) = (1+x)$  моль, т.е.

$$1.5 - 2x = 1 + x,$$

$x = 1/6$ . Следовательно,  $V(\text{р-ра HCl}) : V(\text{р-ра NaOH}) = 1 : (1/6) = 6 : 1$ .

*Ответ:* 1.5 М HCl, 2 М NaOH. Отношение объемов 6 : 1.

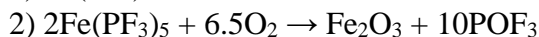
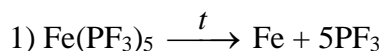
6. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в  $8.86 / 6.20 = 1.43$  раза больше массы металла. Пусть формула оксида –  $\text{Y}_2\text{O}_n$ , тогда

$$\frac{2M(\text{Y}) + 16n}{2M(\text{Y})} = 1.43$$

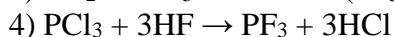
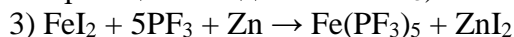
$M(\text{Y}) = 18.65n$ . При  $n = 3$ ,  $M(\text{Y}) = 56$  г/моль,  $\text{Y} - \text{Fe}$ . О том, что  $\text{Y} - \text{железо}$ , можно догадаться также из условия о ядовитости  $\text{Z}$  (связывает железо гемоглобина крови).

По условию, формула комплекса  $\text{X} - \text{FeZ}_5$ .  $M(\text{FeZ}_5) = 56 \cdot 8.86 = 496$  г/моль, откуда  $M(\text{Z}) = (496 - 56) / 5 = 88$  г/моль. Это вещество состоит из двух элементов, один из которых – галоген, фтор или хлор. Простой перебор позволяет легко найти:  $\text{Z} - \text{PF}_3$ , тогда  $\text{X} - \text{Fe}(\text{PF}_3)_5$ .

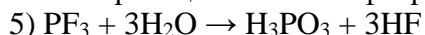
Уравнения реакций:



(принимается также реакция с выделением  $\text{PF}_3$ )



(принимается обменная реакция с любым фторидом)



*Ответ:*  $\text{X} - \text{Fe}(\text{PF}_3)_5$ ,  $\text{Y} - \text{Fe}$ ,  $\text{Z} - \text{PF}_3$ .