

**Решение заданий
заключительного тура олимпиады «Ломоносов» по химии
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)**

Решение. Примеры молекул, удовлетворяющих условию:

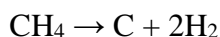
$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ (14 электронов, 10 участвуют в химических связях),

$\text{N}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$ (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. При сильном нагревании метан CH_4 может параллельно разлагаться по двум путям с образованием: 1) сажи и водорода, 2) ацетилена C_2H_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)**

Решение. Уравнения реакций:



Пусть из 1 моля метана образовалось x моль C и y моль C_2H_2 , тогда в конечной смеси содержалось $(1 - x - y)$ моль CH_4 , $(2x + 1.5y)$ моль H_2 и $0.5y$ моль C_2H_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:

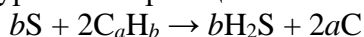
$$\begin{cases} 1.6 = 1 + x + y \\ 7 = \frac{16 - 12x}{1.6} \end{cases}$$

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

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

3. 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)**

Решение. Из условия можно догадаться, что **X** – это H_2S . При получении H_2S сера отнимает водород у вещества **Y**, которое в результате превращается в твердое простое вещество **Z**, а **Y** – его водородное соединение. Твердое простое вещество, образующее твердые водородные соединения, – углерод. Осталось найти формулу твердого углеводорода **Y**. Обозначим формулу C_aH_b , тогда уравнение реакции имеет вид (серу запишем как **S**):



По условию, $m(S) : m(C_aH_b) = 12 : 5$.

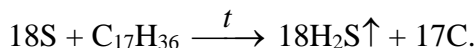
$$\frac{32b}{2 \cdot (12a + b)} = \frac{12}{5}$$

$$160b = 288a + 24b$$

$$136b = 288a$$

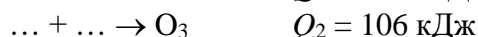
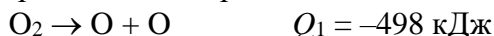
$$17b = 36a,$$

формула углеводорода $Y - C_{17}H_{36}$. Уравнение реакции:



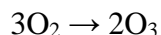
Ответ: $X - H_2S$, $Y - C_{17}H_{36}$, $Z - C$.

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 $O \cdots O$ в молекуле O_3 . (15 баллов)

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



$$Q = -498 + 2 \cdot 106 = -286 \text{ кДж},$$

$$Q_{\text{обр}}(O_3) = -286 / 2 = -143 \text{ кДж/моль}.$$

Из первого уравнения следует что энергия связи $O=O$ равна 498 кДж/моль. Во второй реакции разрывается одна связь $O=O$ и образуются две связи $O \cdots O$ в молекуле O_3 .

$$106 = 2E(O \cdots O) - 498$$

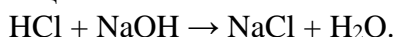
$$E(O \cdots O) = 302 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: $Q_{\text{обр}}(O_3) = -143 \text{ кДж/моль}$, $E(O \cdots O) = 302 \text{ кДж/моль}$.

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

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

Решение. Реакция нейтрализации:



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

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

При смешивании 4 л раствора HCl и 3 л раствора $NaOH$ образуется нейтральный раствор, следовательно, $v(HCl) = v(NaOH)$, 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 $[H^+] = 1$ М. $v(H^+) = (1+x)$ 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. 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 гидролизуется 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)

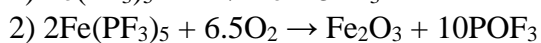
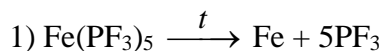
Решение. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в $8.86 / 6.20 = 1.43$ раза больше массы металла. Пусть формула оксида – Y_2O_n , тогда

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

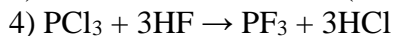
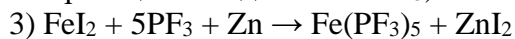
$M(Y) = 18.65n$. При $n = 3$, $M(Y) = 56$ г/моль, **Y** – Fe. О том, что **Y** – железо, можно догадаться также из условия о ядовитости **Z** (связывает железо гемоглобина крови).

По условию, формула комплекса **X** – FeZ_5 . $M(FeZ_5) = 56 \cdot 8.86 = 496$ г/моль, откуда $M(Z) = (496 - 56) / 5 = 88$ г/моль. Это вещество состоит из двух элементов, один из которых – галоген, фтор или хлор. Простой перебор позволяет легко найти: **Z** – PF_3 , тогда **X** – $Fe(PF_3)_5$.

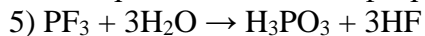
Уравнения реакций:



(принимается также реакция с выделением PF_3)



(принимается обменная реакция с любым фторидом)



Ответ: **X** – $Fe(PF_3)_5$, **Y** – Fe, **Z** – PF_3 .