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:
H–C≡C–H (14 электронов, 10 участвуют в химических связях),
N≡C–C≡N (26 электронов, 14 участвуют в химических связях),
O=C=C=C=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:

$$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$$
$$2CH_4 \rightarrow C_2H_2 + 3H_2$$

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,

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

Упростив систему, получим:

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

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):

$$bS + 2C_aH_b \rightarrow bH_2S + 2aC$$

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:

$$18S + C_{17}H_{36} \xrightarrow{t} 18H_2S\uparrow + 17C.$$

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:

$O_2 \rightarrow O + O$ $\quad Q_1 = -498$ кДж

$\ldots + \ldots \rightarrow O_3$ $\quad Q_2 = 106$ кДж

Запишите уравнение второй реакции. Рассчитайте теплоту образования 1 моля озона из молекулярного кислорода и среднюю энергию связи O···O в молекуле O_3. **(15 баллов)**

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

$3O_2 \rightarrow 2O_3$

$Q = -498 + 2 \cdot 106 = -286$ кДж,

$Q_{обр}(O_3) = -286 / 2 = -143$ 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···O в молекуле O_3.

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

$E(O\cdots O) = 302$ кДж/моль.

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

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O.$$

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

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

При смешивании 4 л раствора HCl и 3 л раствора NaOH образуется нейтральный раствор, следовательно, $\nu(HCl) = \nu(NaOH)$, 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. $\nu(H^+) = (1+x)$ моль, т.е.

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

$x = 1/6$. Следовательно, V(р-ра HCl) : V(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 – $\mathbf{Y}_2O_n$, тогда

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

$M(\mathbf{Y}) = 18.65n$. При $n = 3$, $M(\mathbf{Y}) = 56$ 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** – $Fe\mathbf{Z}_5$. $M(Fe\mathbf{Z}_5) = 56 \cdot 8.86 = 496$ г/моль, откуда $M(\mathbf{Z}) = (496 - 56) / 5 = 88$ 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:

1) $Fe(PF_3)_5 \xrightarrow{t} Fe + 5PF_3$

2) $2Fe(PF_3)_5 + 6.5O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 10POF_3$

(принимается также реакция с выделением PF_3)

3) $FeI_2 + 5PF_3 + Zn \rightarrow Fe(PF_3)_5 + ZnI_2$

4) $PCl_3 + 3HF \rightarrow PF_3 + 3HCl$

(принимается обменная реакция с любым фторидом)

5) $PF_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HF$

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