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

1. 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. 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,

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

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. 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. 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. 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, ν(HCl) = ν(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. 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.