Задания отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии с решениями
5 – 9 классы

Задача 1 (6 баллов)

1.1. Напишите уравнение реакции между двумя электролитами, в результате которой количество ионов в растворе уменьшается в 2.5 раза. Ответ подтвердите расчетом с помощью полного ионного уравнения.

Решение. Реакция

$$AlCl_3 + 3AgNO_3 \rightarrow 3AgCl\downarrow + Al(NO_3)_3$$

$$Al^{3+} + 3Cl^- + 3Ag^+ + 3NO_3^- \rightarrow 3AgCl\downarrow + Al^{3+} + 3NO_3^-.$$

При стехиометрическом соотношении солей из десяти ионов остается четыре:

$$10 / 4 = 2.5.$$

Возможны и другие уравнения.

1.2. Напишите уравнение реакции между двумя электролитами, в результате которой количество ионов в растворе уменьшается в 1.5 раза. Ответ подтвердите расчетом с помощью полного ионного уравнения.

Решение. Реакция

$$BaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow BaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Ba^{2+} + 2Cl^- + 2Na^+ + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_3\downarrow + 2Na^+ + 2Cl^-.$$

При стехиометрическом соотношении солей из шести ионов остается четыре:

$$6 / 4 = 1.5.$$

Возможны и другие уравнения.

1.3. Напишите уравнение реакции между двумя электролитами, в результате которой в растворе не остается ионов. Ответ подтвердите полным ионным уравнением.

Решение. Реакция

$$CuSO_4 + Ba(OH)_2 \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + BaSO_4\downarrow$$

$$Cu^{2+} + SO_4^{2-} + Ba^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + BaSO_4\downarrow$$

При стехиометрическом соотношении солей ионов в растворе практически не останется.

Возможны и другие уравнения.

1.4. Напишите уравнение реакции между сильным и слабым электролитом, в результате которой количество ионов в растворе увеличивается на треть. Ответ подтвердите расчетом с помощью полного ионного уравнения.

Решение. Реакция

$$Pb(NO_3)_2 + H_2S \rightarrow PbS\downarrow + 2HNO_3$$

$$Pb^{2+} + 2NO_3^- + H_2S \rightarrow PbS\downarrow + 2H^+ + 2NO_3^-$$

При стехиометрическом соотношении соли и кислоты вместо трех ионов образуется четыре:

$$4 / 3 = 1⅓.$$

Возможны и другие уравнения.

Задача 2 (12 баллов)

2.1. Газообразное при обычных условиях вещество **X** образуется при взаимодействии двух веществ – простого (газ тяжелее воздуха) и сложного (газ легче воздуха). Газ **X** легко гидролизуется, превращаясь в два газа, каждый из которых дает осадок при пропускании через известковую воду. Определите вещество **X** и напишите уравнения всех реакций. Какую геометрическую форму имеет молекула **X**?

Решение. Ключ к решению – газы, дающие осадок с известковой водой. Таких газов – продуктов гидролиза может быть всего три: CO_2, SO_2, HF. Вещество **X** – это COF_2. Уравнения реакций:

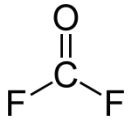
$$CO + F_2 \rightarrow COF_2$$

$$COF_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2HF$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$2HF + Ca(OH)_2 \rightarrow CaF_2\downarrow + 2H_2O$$

Структурная формула COF_2



Гибридизация атома углерода sp^2, молекула – плоская, равнобедренный треугольник.

Ответ: COF_2.

2.2. Газообразное при обычных условиях вещество **X** в 3.52 раза тяжелее воздуха. Оно образуется при взаимодействии двух веществ – простого и сложного. Газ **X** медленно гидролизуется, превращаясь в кислоты, одна из которых сильная, а другая – слабая. Определите вещество **X** и напишите уравнения всех реакций. Какую геометрическую форму имеет молекула **X**?

Решение. Ключ к решению – молярная масса и гидролиз с образованием кислот.

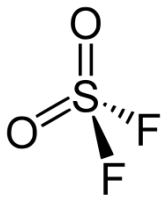
$$M(\mathbf{X}) = 3.52 \cdot 29 = 102 \text{ г/моль}.$$

Вещество **X** – SO_2F_2. Уравнения реакций:

$$SO_2 + F_2 \rightarrow SO_2F_2$$

$$SO_2F_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HF$$

Структурная формула SO_2F_2



Молекула SO_2F_2 имеет форму неправильного тетраэдра с атомом серы в центре.

Ответ: SO_2F_2.

2.3. Газ **X** состоит из трех элементов, он примерно в 3 раза тяжелее воздуха. **X** легко гидролизуется, превращаясь в два газа, каждый из которых дает осадок при пропускании через известковую воду. Определите вещество **X** и напишите уравнения всех реакций. Какую геометрическую форму имеет молекула **X**?

Решение. Ключ к решению – молярная масса и газы, дающие осадок с известковой водой (выбор между CO_2, SO_2, HF).

$$M(\mathbf{X}) \approx 3 \cdot 29 = 87 \text{ г/моль}.$$

Вещество **X** – SOF_2 (M = 86 г/моль). Уравнения реакций:

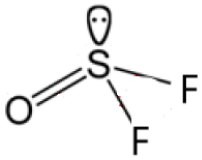
$$SO + F_2 \rightarrow SOF_2$$

$$SOF_2 + H_2O \rightarrow SO_2 + 2HF$$

$$SO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_3\downarrow + H_2O$$

$$2HF + Ca(OH)_2 \rightarrow CaF_2\downarrow + 2H_2O$$

Структурная формула SOF_2:



Атом серы имеет неподеленную пару электронов и связи с тремя атомами. Молекула SOF_2 – неправильный тетраэдр.

Ответ: SOF_2.

2.4. Газообразное при обычных условиях вещество **X** в 3.59 раза тяжелее воздуха. **X** легко гидролизуется, превращаясь в две слабые кислоты, каждая из которых дает осадок с известковой водой. Определите вещество **X** и напишите уравнения всех реакций. Какую геометрическую форму имеет молекула **X**?

Решение. Ключ к решению – молярная масса и гидролиз с образованием кислот.

$$M(\mathbf{X}) = 3.59 \cdot 29 = 104 \text{ г/моль}.$$

Вещество **X** – POF_3. Уравнения реакций:

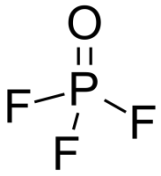
$$POF_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_4 + 3HF$$

$$H_3PO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaHPO_4\downarrow + 2H_2O$$

(принималось и уравнение с образованием $Ca_3(PO_4)_2$),

$$2HF + Ca(OH)_2 \rightarrow CaF_2\downarrow + 2H_2O$$

Структурная формула POF_3



Молекула POF_3 имеет форму неправильного тетраэдра с атомом фосфора в центре.

Ответ: POF_3.

Задача 3 (12 баллов)

3.1. Один из галогенидов лития имеет кристаллическую структуру типа NaCl. Элементарная ячейка представляет собой куб стороной 0.550 нм, на одну ячейку приходится 4 формульные единицы. Плотность кристаллов равна 3.464 г/см^3. Установите формулу галогенида и подтвердите расчетом.

Решение. Найдем объем элементарной ячейки:

$$V_{яч} = (0.55 \cdot 10^{-7}\ см)^3 = 1.66 \cdot 10^{-22}\ см^3.$$

Молярный объем галогенида:

$$V_m = 1.66 \cdot 10^{-22} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} / 4 = 25.0\ см^3/моль.$$

Тогда молярная масса равна

$$M = 25.0 \cdot 3.464 = 86.7\ г/моль \approx 87\ г/моль – это\ LiBr.$$

Ответ: LiBr.

3.2. Один из галогенидов калия имеет кристаллическую структуру типа NaCl. Элементарная ячейка представляет собой куб стороной 0.536 нм, на одну ячейку приходится 4 формульные единицы. Плотность кристаллов равна 2.49 г/см^3. Установите формулу галогенида и подтвердите расчетом.

Решение. Найдем объем элементарной ячейки:

$$V_{яч} = (0.536 \cdot 10^{-7}\ см)^3 = 1.54 \cdot 10^{-22}\ см^3.$$

Молярный объем галогенида:

$$V_m = 1.54 \cdot 10^{-22} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}/4 = 23.2\ см^3/моль.$$

Тогда молярная масса равна

$$M = 23.2 \cdot 2.49 = 57.7\ г/моль \approx 58\ г/моль – это\ KF.$$

Ответ: KF.

3.3. Один из галогенидов рубидия имеет кристаллическую структуру типа NaCl. Элементарная ячейка представляет собой куб стороной 0.690 нм, на одну ячейку приходится 4 формульные единицы. Плотность кристаллов равна 3.35 г/см^3. Установите формулу галогенида и подтвердите расчетом.

Решение. Найдем объем элементарной ячейки:

$$V_{яч} = (0.690 \cdot 10^{-7}\ см)^3 = 3.285 \cdot 10^{-22}\ см^3.$$

Молярный объем галогенида:

$$V_m = 3.285 \cdot 10^{-22} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}/4 = 49.4\ см^3.$$

Тогда молярная масса равна

$$M = 49.4 \cdot 3.35 = 165.6\ г/моль – это\ RbBr.$$

Ответ: RbBr.

3.4. Один из галогенидов цезия имеет кристаллическую структуру типа NaCl. Элементарная ячейка представляет собой куб стороной 0.602 нм, на одну ячейку приходится 4 формульные единицы. Плотность кристаллов равна 4.64 г/см^3. Установите формулу галогенида и подтвердите расчетом.

Решение. Найдем объем элементарной ячейки:

$$V_{яч} = (0.602 \cdot 10^{-7}\ см)^3 = 2.18 \cdot 10^{-22}\ см^3.$$

Молярный объем галогенида:

$$V_m = 2.18 \cdot 10^{-22} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}/4 = 32.8\ см^3.$$

Тогда молярная масса равна

$$M = 32.8 \cdot 4.64 = 152.3\ г/моль – это\ CsF.$$

Ответ: CsF.

Задача 4 (14 баллов)

4.1. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

а) $FeCl_3 + Cu \rightarrow \mathbf{X} + \ldots$

$\mathbf{X} + H_2S \rightarrow$

б) $H_3PO_3 \xrightarrow{t} \mathbf{Y} + \ldots$

$\mathbf{Y} + Mg \rightarrow$

Ответ: а) **X** – $CuCl_2$:

$$2FeCl_3 + Cu \rightarrow 2FeCl_2 + CuCl_2$$

$$CuCl_2 + H_2S \rightarrow CuS\downarrow + 2HCl$$

б) **Y** – H_3PO_4:

$$4H_3PO_3 \xrightarrow{t} PH_3 + 3H_3PO_4$$

$$H_3PO_4 + Mg \rightarrow Mg(H_2PO_4)_2 + H_2$$

4.2. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

а) $CuCl_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow \mathbf{X} + \ldots + \ldots$

$\mathbf{X} + HCl(конц.) \rightarrow$

б) $KNO_2 + Zn + KOH + H_2O \rightarrow$ **Y** + ...

Y + $AlCl_3 + H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + \ldots$

Ответ: а) **X** – CuCl:

$$2CuCl_2 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2CuCl + H_2SO_4 + 2HCl$$

$$CuCl + HCl \rightarrow H[CuCl_2]$$

б) **Y** – NH_3:

$$KNO_2 + 3Zn + 5KOH + 5H_2O \rightarrow 3K_2[Zn(OH)_4] + NH_3$$

$$3NH_3 + AlCl_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3NH_4Cl$$

4.3. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

а) $CaSO_4 + H_2 \xrightarrow{t}$ **X** + …

X + $PI_3 \rightarrow$

б) $Cu(OH)_2 + N_2H_4 \rightarrow$ **Y** + N_2 + …

Y + $NH_3 + H_2O \rightarrow$

Ответ: а) X – H_2O:

$$CaSO_4 + 4H_2 \xrightarrow{t} CaS + 4H_2O$$

$$3H_2O + PI_3 \rightarrow H_3PO_3 + 3HI$$

б) Y – Cu_2O:

$$4Cu(OH)_2 + N_2H_4 \rightarrow 2Cu_2O + N_2 + 6H_2O$$

$$Cu_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Cu(NH_3)_2]OH$$

4.4. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

а) $HCOOH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4}$ **X** + ...

X + $I_2O_5 \rightarrow I_2$ + …

б) $FeCl_3 + (NH_4)_2S \rightarrow$ **Y** + … + …

Y + $HCl \rightarrow$

Ответ: а) **X** – CO:

$$HCOOH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4} CO + H_2O$$

$$5CO + I_2O_5 \rightarrow 5CO_2 + I_2$$

б) **Y** – FeS:

$$2FeCl_3 + 3(NH_4)_2S \rightarrow 2FeS\downarrow + S\downarrow + 6NH_4Cl$$

$$FeS + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2S\uparrow$$

Задача 5 (18 баллов)

5.1. Предложите уравнения реакций, в которых степень окисления железа изменяется следующим образом:

$$Fe^0 \rightarrow Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+6} \rightarrow Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2} \rightarrow Fe^0$$

Решение: $Fe \rightarrow FeCl_2 \rightarrow FeCl_3 \rightarrow K_2FeO_4 \rightarrow FeCl_3 \rightarrow FeCl_2 \rightarrow Fe$

1) $Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$
2) $2FeCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$
3) $2FeCl_3 + 3Cl_2 + 16KOH \rightarrow 2K_2FeO_4 + 12KCl + 8H_2O$
4) $2K_2FeO_4 + 16HCl \rightarrow 3Cl_2 + 2FeCl_3 + 4KCl + 8H_2O$
5) $2FeCl_3 + Cu \rightarrow 2FeCl_2 + CuCl_2$
6) $Zn + FeCl_2 \rightarrow Fe + ZnCl_2$

Возможны и другие решения.

5.2. Предложите уравнения реакций, в которых степень окисления хрома изменяется следующим образом:

$$Cr^0 \rightarrow Cr^{+2} \rightarrow Cr^{+3} \rightarrow Cr^{+6} \rightarrow Cr^{+3} \rightarrow Cr^{+2} \rightarrow Cr^0$$

Решение: $Cr \rightarrow CrCl_2 \rightarrow CrCl_3 \rightarrow K_2CrO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 \rightarrow CrSO_4 \rightarrow Cr$

1) $Cr + 2HCl \rightarrow CrCl_2 + H_2$
2) $2CrCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2CrCl_3$
3) $2CrCl_3 + 3Cl_2 + 16KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + 12KCl + 8H_2O$
4) $2K_2CrO_4 + 3SO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$
5) $2Cr_2(SO_4)_3 + Zn \rightarrow 2CrSO_4 + ZnSO_4$

$\lightning$

6) $CrSO_4 + 2H_2O \rightarrow Cr + H_2 + O_2 + H_2SO_4$

Возможны и другие решения.

5.3. Предложите уравнения реакций, в которых степень окисления марганца изменяется следующим образом:

$$Mn^0 \rightarrow Mn^{+2} \rightarrow Mn^{+4} \rightarrow Mn^{+6} \rightarrow Mn^{+4} \rightarrow Mn^{+2} \rightarrow Mn^0$$

Решение: $Mn \rightarrow MnCl_2 \rightarrow MnO_2 \rightarrow K_2MnO_4 \rightarrow MnO_2 \rightarrow MnO \rightarrow Mn$

1) $Mn + 2HCl(р\text{-}р) \rightarrow MnCl_2 + H_2$
2) $MnCl_2 + Cl_2 + 4KOH(разб.) \rightarrow MnO_2 + 4KCl + H_2O$
3) $3MnO_2 + KClO_3 + 6KOH \xrightarrow{t} 3K_2MnO_4 + KCl + 3H_2O$
4) $3K_2MnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2KMnO_4 + MnO_2 + 4KOH$
5) $2MnO_2 + C(недост) \xrightarrow{t} 2MnO + CO_2$
6) $MnO + C \xrightarrow{t} Mn + CO$

Возможны и другие решения.

5.4. Предложите уравнения реакций, в которых степень окисления азота изменяется следующим образом:

$$N^{-3} \rightarrow N^{+2} \rightarrow N^{+4} \rightarrow N^{+5} \rightarrow N^{+4} \rightarrow N^{+3} \rightarrow N^{-3}$$

Решение: $NH_3 \rightarrow NO \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow KNO_2 \rightarrow NH_3$

1) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{t,\ Pt} 4NO + 6H_2O$
2) $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$

3) $4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$

4) $Cu + 4HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$

5) $2NO_2 + 2KOH \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$

6) $KNO_2 + 3Zn + 5KOH + 5H_2O \rightarrow 3K_2[Zn(OH)_4] + NH_3$

Возможны и другие решения.

Задача 6 (18 баллов)

6.1. Фосфатный буфер представляет собой раствор, содержащий смесь двух кислых солей фосфорной кислоты. Кислотность буфера зависит от соотношения солей. Чтобы получить фосфатный буфер с pH = 6.8, число молей дигидрофосфата в растворе должно быть в 2.5 раза больше, чем гидрофосфата. Сколько миллилитров 3 М раствора KOH надо добавить к раствору, содержащему 0.7 моль H_3PO_4, чтобы получить необходимый буферный раствор? Ответ подтвердите уравнениями реакций и расчетом.

Решение. Уравнения реакций:

$$H_3PO_4 + KOH \rightarrow KH_2PO_4 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 2KOH \rightarrow K_2HPO_4 + 2H_2O$$

Пусть в первую реакцию вступит x моль H_3PO_4, а во вторую – y моль, тогда для x и y получаем систему уравнений (одно – количество вещества H_3PO_4, второе – соотношение количеств солей):

$$\begin{cases} x + y = 0.7, \\ \dfrac{x}{y} = 2.5. \end{cases}$$

Решение системы $x = 0.5$, $y = 0.2$ (моль).

$$\nu(KOH) = x + 2y = 0.9 \text{ моль},$$

$$V(\text{раствора KOH}) = \nu / c = 0.9 / 3 = 0.3 \text{ л} = 300 \text{ мл}.$$

Ответ: 300 мл.

6.2. Фосфатный буфер представляет собой раствор, содержащий смесь двух кислых солей фосфорной кислоты. Кислотность буфера зависит от соотношения солей. Чтобы получить фосфатный буфер с pH = 7.6, число молей гидрофосфата калия в растворе должно быть в 2.5 раза больше, чем дигидрофосфата. Сколько литров 2 М раствора KOH надо добавить к раствору, содержащему 1.4 моль H_3PO_4, чтобы получить необходимый буферный раствор? Ответ подтвердите уравнениями реакций и расчетом.

Решение. Уравнения реакций:

$$H_3PO_4 + KOH \rightarrow KH_2PO_4 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 2KOH \rightarrow K_2HPO_4 + 2H_2O$$

Пусть в первую реакцию вступит x моль H_3PO_4, а во вторую – y моль, тогда для x и y получаем систему уравнений (одно – количество вещества H_3PO_4, второе – соотношение количеств солей):

$$\begin{cases} x + y = 1.4, \\ \dfrac{y}{x} = 2.5. \end{cases}$$

Решение системы x = 0.4, y = 1.0 (моль).

$$\nu(KOH) = x + 2y = 2.4 \text{ моль},$$

$$V(\text{раствора KOH}) = \nu / c = 2.4 / 2 = 1.2 \text{ л}.$$

Ответ: 1.2 л.

6.3. Карбонатный буфер представляет собой раствор, содержащий смесь кислой и средней солей угольной кислоты. Кислотность буфера зависит от соотношения солей. Чтобы получить карбонатный буфер с pH = 10.8, число молей карбоната в растворе должно быть в 3 раза больше, чем гидрокарбоната. Сколько литров углекислого газа (н.у.) надо пропустить через раствор, содержащий 0.7 моль KOH, чтобы получить необходимый буферный раствор? Ответ подтвердите уравнениями реакций и расчетом.

Решение. Уравнения реакций:

$$CO_2 + KOH \rightarrow KHCO_3$$

$$CO_2 + 2KOH \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$$

Пусть в первую реакцию вступит x моль KOH, а во вторую – y моль, тогда для x и y получаем систему уравнений (одно – количество вещества KOH, второе – соотношение количеств солей):

$$\begin{cases} x + y = 0.7, \\ \dfrac{0.5y}{x} = 3.0. \end{cases}$$

Решение системы x = 0.1, y = 0.6 (моль).

$$\nu(CO_2) = x + 0.5y = 0.4 \text{ моль},$$

$$V(CO_2) = 0.4 \cdot 22.4 = 8.96 \text{ л}.$$

Ответ: 8.96 л.

6.4. Карбонатный буфер представляет собой раствор, содержащий смесь кислой и средней солей угольной кислоты. Кислотность буфера зависит от соотношения солей. Чтобы получить карбонатный буфер с pH = 9.8, число молей гидрокарбоната в растворе должно быть в 3.4 раза больше, чем карбоната. Сколько литров углекислого газа (н.у.) надо пропустить через раствор, содержащий 1.08 моль KOH, чтобы получить необходимый буферный раствор? Ответ подтвердите уравнениями реакций и расчетом.

Решение. Уравнения реакций:

$$CO_2 + KOH \rightarrow KHCO_3$$

$$CO_2 + 2KOH \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$$

Пусть в первую реакцию вступит x моль KOH, а во вторую – y моль, тогда для x и y получаем систему уравнений (одно – количество вещества KOH, второе – соотношение количеств солей):

$$\begin{cases} x + y = 1.08, \\ \dfrac{x}{0.5y} = 3.4. \end{cases}$$

Решение системы $x = 0.68$, $y = 0.4$ (моль).

$$\nu(CO_2) = x + 0.5y = 0.88 \text{ моль},$$

$$V(CO_2) = 0.88 \cdot 22.4 = 19.7 \text{ л}.$$

Ответ: 19.7 л.

Задача 7 (20 баллов)

7.1. Фосфор образует несколько соединений с водородом, из которых устойчивы два – фосфин PH_3 и дифосфин P_2H_4. Теплоты образования этих веществ в газовой фазе равны –5.5 и –20.9 кДж/моль, соответственно. Рассчитайте энергию связи P–P, если энергии связи P–H и H–H равны 322 и 436 кДж/моль, соответственно. Считайте, что энергия связи P–H в фосфине и дифосфине – одна и та же.

Решение. Рассмотрим реакцию

$$2PH_3(г) \rightarrow P_2H_4(г) + H_2$$

и рассчитаем ее тепловой эффект двумя способами – через теплоты образования веществ:

$$Q = Q_{обр}(P_2H_4) - 2Q_{обр}(PH_3) = -20.9 - 2\cdot(-5.5) = -9.9 \text{ кДж/моль}$$

и через энергии связи:

$$Q = \Sigma E(обр) - \Sigma E(разр) = E(P–P) + E(H–H) - 2E(P–H)$$

(все связи в PH_3 разрывать не надо, достаточно одной связи в каждой из молекул).

$$-9.9 = E(P–P) + 436 - 2\cdot 322,$$

отсюда $E(P–P) = 198.1$ кДж/моль.

Ответ: 198.1 кДж/моль.

7.2. Фосфор образует несколько соединений с водородом, из которых устойчивы два – фосфин PH_3 и дифосфин P_2H_4. Теплоты образования этих веществ в газовой фазе равны –5.5 и –20.9 кДж/моль, соответственно. Рассчитайте энергию связи P–H, если энергии связи P–P и H–H равны 201 и 436 кДж/моль, соответственно. Считайте, что энергия связи P–H в фосфине и дифосфине – одна и та же.

Решение. Рассмотрим реакцию

$$2PH_3(г) \rightarrow P_2H_4(г) + H_2$$

и рассчитаем ее тепловой эффект двумя способами – через теплоты образования веществ:

$$Q = Q_{обр}(P_2H_4) - 2Q_{обр}(PH_3) = -20.9 - 2\cdot(-5.5) = -9.9 \text{ кДж/моль}$$

и через энергии связи:

$$Q = \Sigma E(обр) - \Sigma E(разр) = E(P–P) + E(H–H) - 2E(P–H)$$

(все связи в PH_3 разрывать не надо, достаточно одной связи в каждой из молекул).

$$-9.9 = E(\text{P–P}) + 436 - 2\cdot 322,$$

отсюда $E(\text{P–H}) = 323.5$ кДж/моль.

Ответ: 323.5 кДж/моль.

7.3. Фосфор образует несколько соединений с хлором, в которых он трехвалентен. Теплоты образования газообразных PCl_3 и P_2Cl_4 равны 279.5 и 344 кДж/моль, соответственно. Рассчитайте энергию связи P–P, если энергии связи P–Cl и Cl–Cl равны 326 и 242 кДж/моль, соответственно. Считайте, что энергия связи P–Cl в обоих соединениях – одна и та же.

Решение. Рассмотрим реакцию

$$2PCl_3(г) \rightarrow P_2Cl_4(г) + Cl_2$$

и рассчитаем ее тепловой эффект двумя способами – через теплоты образования веществ:

$$Q = Q_{обр}(P_2Cl_4) - 2Q_{обр}(PCl_3) = 344 - 2 \cdot 279.5 = -215 \text{ кДж/моль}$$

и через энергии связи:

$$Q = \Sigma E(обр) - \Sigma E(разр) = E(\text{P–P}) + E(\text{Cl–Cl}) - 2E(\text{P–Cl})$$

(все связи в PCl_3 разрывать не надо, достаточно одной связи в каждой из молекул).

$$-215 = E(\text{P–P}) + 242 - 2 \cdot 326,$$

$$E(\text{P–P}) = 195 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: 195 кДж/моль.

7.4. Фосфор образует несколько соединений с хлором, в которых он трехвалентен. Теплоты образования газообразных PCl_3 и P_2Cl_4 равны 279.5 и 344 кДж/моль, соответственно. Рассчитайте энергию связи P–Cl, если энергии связи P–P и Cl–Cl равны 198 и 242 кДж/моль, соответственно. Считайте, что энергия связи P–Cl в обоих соединениях – одна и та же.

Решение. Рассмотрим реакцию

$$2PCl_3(г) \rightarrow P_2Cl_4(г) + Cl_2$$

и рассчитаем ее тепловой эффект двумя способами – через теплоты образования веществ:

$$Q = Q_{обр}(P_2Cl_4) - 2Q_{обр}(PCl_3) = 344 - 2 \cdot 279.5 = -215 \text{ кДж/моль}$$

и через энергии связи:

$$Q = \Sigma E(обр) - \Sigma E(разр) = E(\text{P–P}) + E(\text{Cl–Cl}) - 2E(\text{P–Cl})$$

(все связи в PCl_3 разрывать не надо, достаточно одной связи в каждой из молекул).

$$-215 = 198 + 242 - 2E(\text{P–Cl})$$

$$E(\text{P–Cl}) = 327.5 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: 327.5 кДж/моль.

Одни и те же величины в разных вариантах задачи 7 имеют немного различающиеся значения. Это различие находится в пределах экспериментальной погрешности и сделано для того, чтобы сократить объем информацией между участниками, решающими разные варианты.