

**Олимпиада «Ломоносов» по химии**  
**Решения заданий для 10-11 классов**

**Вариант 2**

**1.6.** Приведите химические формулы следующих веществ и назовите их в соответствии с правилами ИЮПАК: кварц, красная кровяная соль, поташ, щавелевая кислота. (4 балла)

*Решение:*

SiO<sub>2</sub> оксид кремния(IV), диоксид кремния

K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] гексацианоферрат(III) калия

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> карбонат калия

HOOC–COOH этандиовая кислота

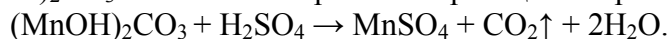
**2.1.** Установите формулу соединения, которое содержит марганец (53.92 масс.%), водород (0.98 масс.%), углерод (5.88 масс.%) и кислород, и напишите уравнение его реакции с раствором серной кислоты. (6 баллов)

*Решение.* Неизвестное соединение имеет формулу Mn<sub>x</sub>H<sub>y</sub>C<sub>z</sub>O<sub>k</sub>. Определим содержание кислорода в нем:

$$100 - 53.92 - 0.98 - 5.88 = 39.22, \text{ т.е. } 39.22 \text{ масс.}\%$$

$$x : y : z : k = \frac{53.92}{55} : \frac{0.98}{1} : \frac{5.88}{12} : \frac{39.22}{16} = 0.98 : 0.98 : 0.49 : 2.45 = 2 : 2 : 1 : 5.$$

Простейшая формула соединения – Mn<sub>2</sub>H<sub>2</sub>CO<sub>5</sub>. Такой формуле отвечает соединение (MnOH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – основной карбонат марганца. Его реакция с раствором серной кислоты:

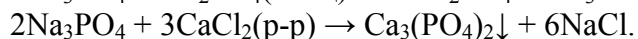


*Ответ:* (MnOH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

**3.2.** В трех бюксах находятся белые кристаллические вещества NaBr, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, зашифрованные под номерами I – III. Используя данные таблицы, определите, какой номер соответствует каждой из этих солей, запишите уравнения всех реакций. (6 баллов)

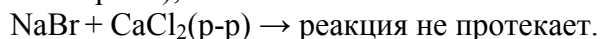
Соли	I	II	III
Реактив			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (конц)	Нет видимых изменений	Выделение газа, изменение окраски	Выделение газа
CaCl <sub>2</sub> (р-р)	Образование осадка	Нет видимых изменений	Образование осадка

*Решение.* Вещество I – Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

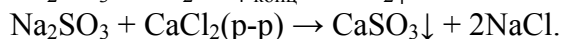
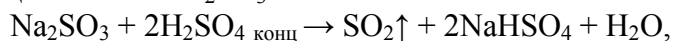


Вещество II – NaBr.

2NaBr + 3H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(конц) → Br<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>↑ + 2NaHSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O (оранжевое окрашивание из-за выделения брома),



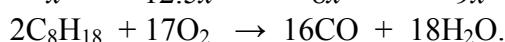
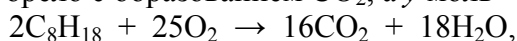
Вещество III – Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.



**4.6.** При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля кроме углекислого газа и воды образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0.70 кг/л). При сгорании 16.0 л такого бензина образовалось 49.0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, образовавшихся при этом. Какова масса кислорода, потребовавшегося для сгорания? (8 баллов)

*Решение.* Масса сгоревшего октана равна  $m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = V \cdot \rho = 16.0 \cdot 0.700 = 11.2$  кг.

Пусть  $x$  моль октана сгорело с образованием  $\text{CO}_2$ , а  $y$  моль – с образованием  $\text{CO}$ . Тогда



Масса октана равна  $m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114(x+y)$ , массы продуктов:

$$m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 8x = 352x,$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 9(x+y) = 162(x+y),$$

$$m(\text{CO}) = 28 \cdot 8y = 224y.$$

Общая масса продуктов равна  $514x + 386y$ . Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 114(x+y) = 11200, \\ 514x + 386y = 49000, \end{cases}$$

решение которой дает  $x = 86.5$ ,  $y = 11.7$ .

Тогда массы продуктов:

$$m(\text{CO}_2) = 352x = 30.5 \text{ кг},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 162(x+y) = 15.9 \text{ кг},$$

$$m(\text{CO}) = 224y = 2.6 \text{ кг}.$$

Масса кислорода равна

$$m(\text{O}_2) = m(\text{продуктов}) - m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 49 - 11.2 = 37.8 \text{ кг}.$$

*Ответ:*  $m(\text{CO}_2) = 30.5$  кг,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 15.9$  кг,  $m(\text{CO}) = 2.6$  кг,  $m(\text{O}_2) = 37.8$  кг.

**5.3.** Плотность газообразной смеси двух спиртов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических спиртов, при  $175^\circ\text{C}$  и 1 атм равна 1.0993 г/л. Плотность другой смеси тех же спиртов равна 1.7850 г/л (условия те же). Объемная доля одного спирта в первой смеси равна объемной доле другого спирта во второй смеси. Установите качественный и количественный состав каждой смеси (в мольных %), если известно, что один из спиртов проявляет оптическую активность. (8 баллов)

*Решение.* Определим среднюю молярную массу первой смеси:

$$M_{\text{ср.1}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.0993 \cdot 8.314 \cdot 448}{101.3} = 40.42 \text{ г/моль}.$$

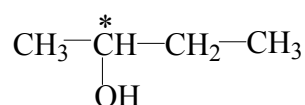
В смеси присутствует метанол, поскольку средняя молярная масса больше массы метанола, но меньше массы этанола:  $M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32$  г/моль,  $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46$  г/моль. Средняя молярная масса второй смеси:

$$M_{\text{ср.2}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.7850 \cdot 8.314 \cdot 448}{101.3} = 65.63 \text{ г/моль}.$$

Введем обозначение  $\varphi(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{смесь1}} = x$ , тогда  $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь1}} = 1 - x$ . По условию,  $\varphi(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{смесь2}} = 1 - x$ ,  $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь2}} = x$ . Запишем выражения для средних масс:

$$\begin{cases} 32x + (14n + 18)(1 - x) = 40.42, \\ 32(1 - x) + (14n + 18)x = 65.63. \end{cases}$$

Решение системы уравнений дает  $n = 4$ ,  $x = 0.8$ . Следовательно, второй спирт содержит четыре атома углерода. Поскольку именно он содержит асимметрический атом углерода, это бутанол-2:



*Ответ:* первая смесь содержит 80% метанола и 20% бутанола-2, вторая смесь содержит 20% метанола и 80% бутанола-2.

**6.5.** Энергия активации газофазной реакции  $2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$  равна 5.44 кДж/моль. При увеличении исходного объема реакционной смеси вдвое и одновременном повышении температуры начальная скорость реакции уменьшилась в 7 раз. До какой температуры была нагрета смесь, если ее начальная температура составляла 20°C? (12 баллов)

*Решение.* Пусть начальные молярные концентрации равнялись  $c(\text{NO})_1$  и  $c(\text{Br}_2)_1$ . после увеличения объема вдвое концентрации вдвое уменьшатся:

$$c(\text{NO})_2 = \frac{1}{2} c(\text{NO})_1, \quad c(\text{Br}_2)_2 = \frac{1}{2} c(\text{Br}_2)_1.$$

Тогда начальная скорость реакции составляет

$$w_1 = k_1(c(\text{NO})_1)^2 c(\text{Br}_2)_1,$$

а конечная скорость равна

$$w_2 = k_2(c(\text{NO})_2)^2 c(\text{Br}_2)_2 = k_2\left(\frac{1}{2} c(\text{NO})_1\right)^2 \cdot \frac{1}{2} c(\text{Br}_2)_1.$$

По условию,

$$\frac{w_1}{w_2} = 7 = 8 \frac{k_1}{k_2},$$

где константы скорости  $k_1$  и  $k_2$  можно выразить уравнением Аррениуса:

$$k_1 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}, \quad k_2 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T_2}}.$$

Тогда

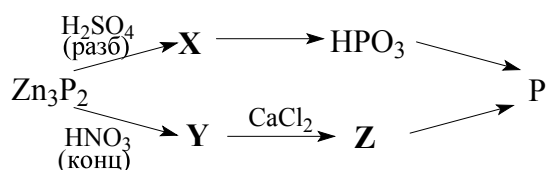
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{7}{8} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}}{e^{-\frac{E_a}{R T_2}}} = e^{\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{293} \right)}.$$

$$\ln\left(\frac{7}{8}\right) = -0.134 = \frac{5440}{8.314} \left( \frac{293 - T_2}{293 T_2} \right),$$

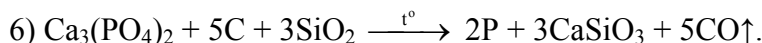
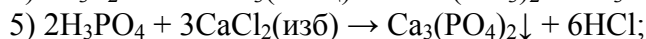
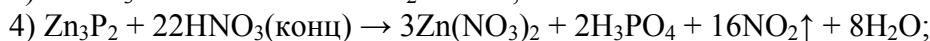
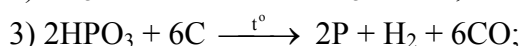
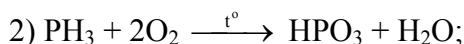
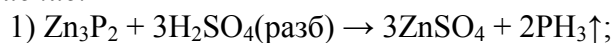
$$T_2 = 311.7 \text{ К}.$$

*Ответ:* 311.7 К.

**7.1.** Приведите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений (все неизвестные вещества содержат фосфор), укажите условия проведения реакций. (12 баллов)



*Решение.*



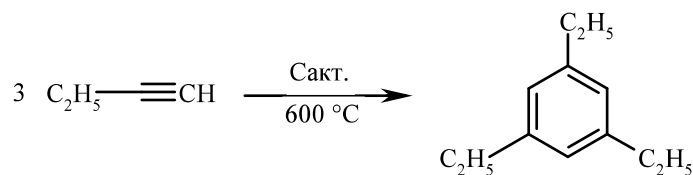
*Ответ:* X – PH<sub>3</sub>, Y – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Z – Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

**8.4.** Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединения А и Д, а также Б и Е – изомеры. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений А–Ж. (12 баллов)

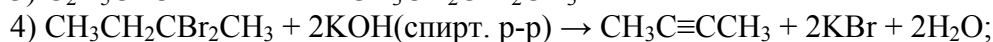
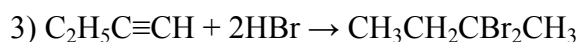
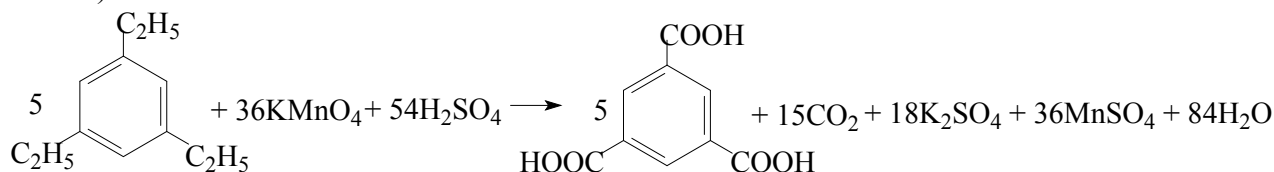


Решение.

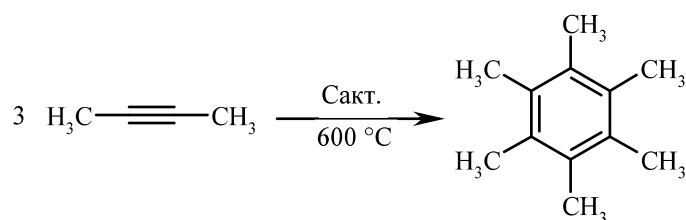
1)



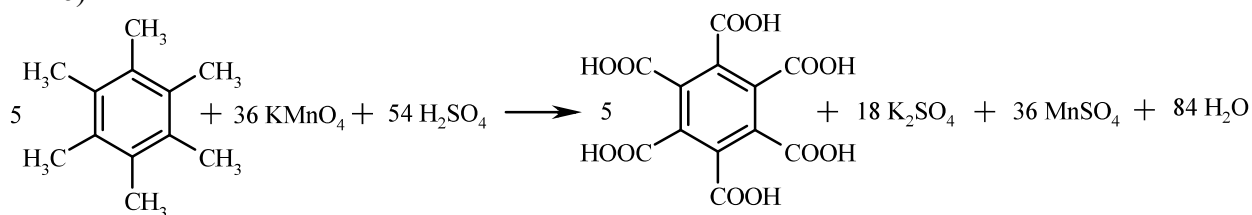
2)



5)

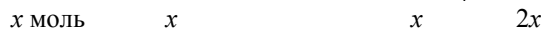
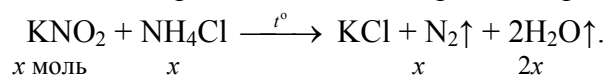


6)



**9.2.** Смесь нитрита калия и хлорида аммония, взятых в молярном соотношении 1.5:1, разделили на две равные части. Газообразные продукты прокалывания первой части пропустили через хлоркальциевую трубку, причем ее масса увеличилась на 4.32 г, а затем – над нагретым металлическим литием, при этом образовалось зеленовато-черное вещество **A**. Ко второй части смеси добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия, при этом образовался бурый раствор **B**. Установите состав и рассчитайте массу вещества **A**, а также определите объем раствора сульфида калия с концентрацией 0.25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора **B**. (16 баллов)

Решение. При прокалывании первой части смеси протекает реакция:

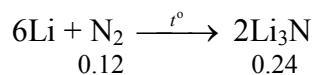


Газообразные продукты – азот и пары воды. Вода поглощается безводным хлористым кальцием, ее количество:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 2x = \frac{m}{M} = \frac{4.32}{18} = 0.24 \text{ моль.}$$

Значит,  $x = 0.12$  моль.

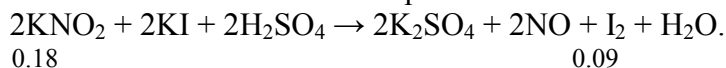
Выделившийся азот взаимодействует с литием:



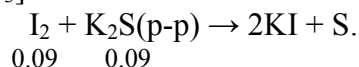
Вещество **A** – нитрид лития  $\text{Li}_3\text{N}$ , его масса равна

$$m(\text{Li}_3\text{N}) = 0.24 \cdot 35 = 8.4 \text{ г.}$$

С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси –  $\text{KNO}_2$ . В каждой части смеси содержится  $0.12 \cdot 1.5 = 0.18$  моль нитрита калия.



Получившийся раствор **В** имеет бурый цвет, так как  $\text{I}_2$  с избытком ионов  $\Gamma$  образует окрашенный комплексный ион  $[\text{I}_3]^-$ .



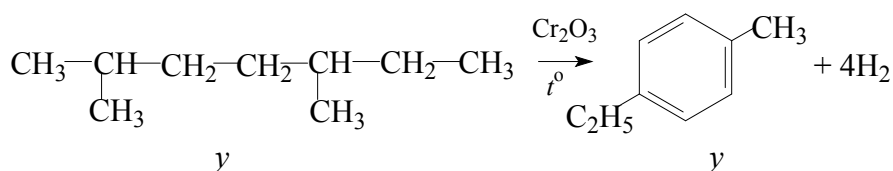
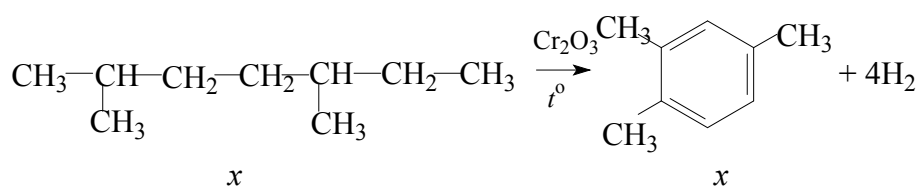
Для полного обесцвечивания раствора **В** потребуется следующий объем раствора сульфида калия:

$$V = \frac{v}{c} = \frac{0.09}{0.25} = 0.36 \text{ л} = 360 \text{ мл}.$$

Ответ: 8.4 г  $\text{Li}_3\text{N}$ , 360 мл.

**10.4.** При нагревании 2,5-диметилгептана до  $450^\circ\text{C}$  в присутствии оксида хрома получили 24 г смеси ароматических углеводородов. Смесь обработали избытком подкисленного раствора  $\text{KMnO}_4$ , при этом выделилось 1.12 л газа (н. у.). Образовавшиеся органические вещества отделили и высушили. Установите качественный и количественный состав полученной смеси. На сколько уменьшится масса данной смеси при ее нагревании до  $200^\circ\text{C}$ ? (16 баллов)

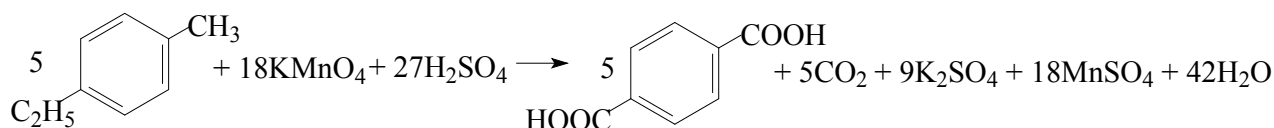
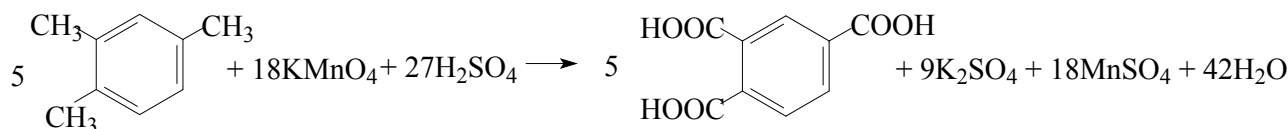
*Решение.* Найдем количества ароматических углеводородов, полученных дегидроциклизацией исходного вещества:



$$v(\text{C}_9\text{H}_{12}) = \frac{24}{120} = 0.2 \text{ моль},$$

$$x + y = 0.2.$$

Реакции окисления:



Количество углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = \frac{1.12}{22.4} = 0.05 \text{ моль}.$$

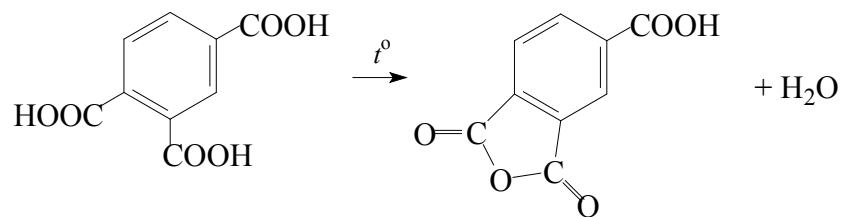
$$y = 0.05, x = 0.15.$$

Массы кислот:

$$m(\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_6) = 0.15 \cdot 210 = 31.5 \text{ г},$$

$$m(\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4) = 0.05 \cdot 166 = 8.3 \text{ г.}$$

При нагревании смеси кислот происходит образование единственного ангидрида:



$$v(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \text{ моль,}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \cdot 18 = 2.7 \text{ г.}$$

*Ответ:* бензол-1,2,4-трикарбоновой кислоты 0.15 моль (31.5 г), бензол-1,4-дикарбоновой (терефталевой) кислоты 0.05 моль (8.3 г); 2.7 г.