



# МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

*олимпиады школьников  
«ЛОМОНОСОВ»  
по химии*

2015/2016 учебный год

**Очный  
(заключительный) этап**

**10-11 классы**

## Вариант 1

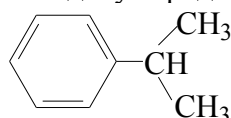
1. Приведите химические формулы следующих веществ и назовите их в соответствии с правилами ИЮПАК: веселящий газ, малахит, пирит, кумол. (4 балла)

*Решение:*

$N_2O$  оксид азота(I), оксид диазота

$(CuOH)_2CO_3$  (или  $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ) основной карбонат меди(II), гидроксокарбонат меди(II)

$FeS_2$  дисульфид железа(II)



изопропилбензол

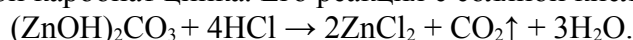
2. Установите формулу соединения, которое содержит цинк (58.04 масс.%), водород (0.89 масс.%), углерод (5.36 масс.%) и кислород, и напишите уравнение его реакции с соляной кислотой. (6 баллов)

*Решение.* Неизвестное соединение имеет формулу  $Zn_xH_yC_zO_k$ . Определим содержание кислорода в нем:

$$100 - 58.04 - 0.89 - 5.36 = 35.71, \text{ т.е. } 35.71 \text{ масс.}\%$$

$$x : y : z : k = \frac{58.04}{65} : \frac{0.89}{1} : \frac{5.36}{12} : \frac{35.71}{16} = 0.89 : 0.89 : 0.45 : 2.23 = 2 : 2 : 1 : 5.$$

Простейшая формула соединения –  $Zn_2H_2CO_5$ . Такой формуле отвечает соединение  $(ZnOH)_2CO_3$  – основной карбонат цинка. Его реакция с соляной кислотой:

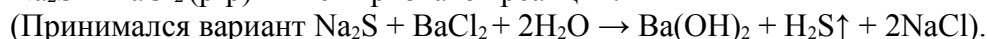
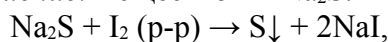


*Ответ:*  $(ZnOH)_2CO_3$ .

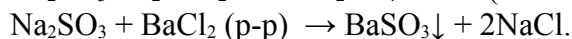
3. В трех бюксах находятся белые кристаллические вещества  $Na_2SO_4$ ,  $Na_2SO_3$  и  $Na_2S$ , зашифрованные под номерами I – III. Используя данные таблицы, определите, какой номер соответствует каждой из этих солей, запишите уравнения всех реакций. (6 баллов)

| Соли<br>Реактив    | I                                  | II                 | III                   |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| $I_2$ (водный р-р) | Обесцвечивание, образование осадка | Обесцвечивание     | Нет видимых изменений |
| $BaCl_2$ (р-р)     | Нет видимых изменений              | Образование осадка | Образование осадка    |

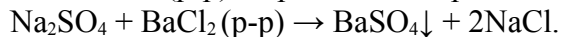
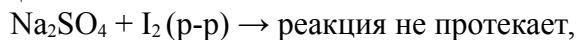
*Решение.* Вещество I –  $Na_2S$ .



Вещество II –  $Na_2SO_3$ .



Вещество III –  $Na_2SO_4$ .

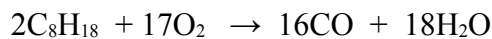
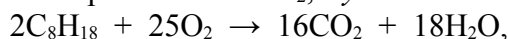


4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля кроме углекислого газа и воды образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0.70 кг/л). При сгорании 20.0 л такого бензина образовалось 60.0 кг

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  $V \cdot \rho = 20.0 \text{ л} \cdot 0.700 \text{ кг/л} = 14.0 \text{ кг}$ .

Пусть  $x$  моль октана сгорело с образованием CO<sub>2</sub>, а  $y$  моль – с образованием 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:

$$\begin{cases} 114(x+y) = 14000, \\ 514x + 386y = 60000, \end{cases}$$

решение которой дает  $x = 98.4$ ,  $y = 24.4$ .

Тогда массы продуктов составляют

$$m(\text{CO}_2) = 352x = 34600 \text{ г} = 34.6 \text{ кг},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 162(x+y) = 19900 \text{ г} = 19.9 \text{ кг},$$

$$m(\text{CO}) = 224y = 5.5 \text{ кг}.$$

Масса кислорода равна

$$m(\text{O}_2) = m(\text{продуктов}) - m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 60 - 14 = 46 \text{ кг}.$$

*Ответ:*  $m(\text{CO}_2) = 34.6 \text{ кг}$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 19.9 \text{ кг}$ ,  $m(\text{CO}) = 5.5 \text{ кг}$ ,  $m(\text{O}_2) = 46 \text{ кг}$ .

5. Плотность газообразной смеси двух эфиров, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических простых эфиров, при 151°C и 1 атм равна 1.6244 г/л. Плотность другой смеси тех же эфиров равна 2.2282 г/л (условия те же). Объемная доля одного эфира в первой смеси равна объемной доле другого эфира во второй смеси. Установите качественный и количественный состав каждой смеси (в мольных %), если известно, что один из эфиров проявляет оптическую активность. (8 баллов)

*Решение.* Определим среднюю молярную массу первой смеси:

$$M_{\text{ср.1}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.6244 \cdot 8.314 \cdot 424}{101.3} = 56.53 \text{ г/моль}.$$

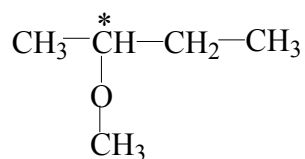
В смеси присутствует диметилвый эфир, поскольку средняя молярная масса больше массы диметилового, но меньше массы метилэтилового эфира:  $M(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 46 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OCH}_3) = 60 \text{ г/моль}$ . Средняя молярная масса второй смеси:

$$M_{\text{ср.2}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2.2282 \cdot 8.314 \cdot 424}{101.3} = 77.54 \text{ г/моль}.$$

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

$$\begin{cases} 46x + (14n + 18)(1 - x) = 56.53, \\ 46(1 - x) + (14n + 18)x = 77.54. \end{cases}$$

Решение системы уравнений дает  $n = 5$ ,  $x = 0.75$ . Следовательно, второй эфир содержит пять атомов углерода. Поскольку именно он содержит асимметрический атом углерода, это – 2-метоксибутан:



*Ответ:* первая смесь содержит 75% диметилового эфира и 25% 2-метоксибутана (втор-бутилметилового эфира), вторая смесь содержит 25% диметилового эфира и 75% 2-метоксибутана.

6. При повышении температуры от 20 до 35°C и одновременном увеличении объема реакционной смеси начальная скорость химической реакции  $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$  не изменилась. Рассчитайте, во сколько раз увеличили объем системы, если энергия активации этой реакции составляет 112.6 кДж/моль. (12 баллов)

*Решение.* Пусть изначально молярная концентрация  $\text{NO}_2$  равнялась  $c_1$ , тогда после увеличения объема в  $x$  раз концентрация уменьшилась в  $x$  раз:  $c_2 = c_1/x$ . Запишем выражения для начальной скорости реакции до и после изменения объема:

$$w_1 = k_1 c_1^2, \quad w_2 = k_2 \left(\frac{c_1}{x}\right)^2$$

По условию задачи  $w_1 = w_2$  или

$$k_1 c_1^2 = k_2 \left(\frac{c_1}{x}\right)^2,$$

откуда можно выразить  $x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$ .

Отношение констант скорости можно выразить, применив уравнение Аррениуса:

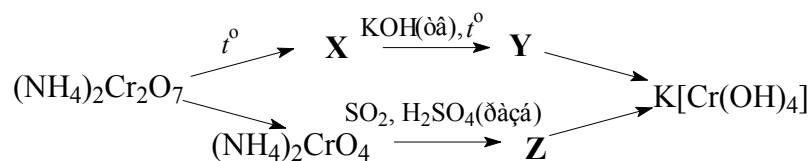
$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \exp\left(\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}\right) = \exp\left(\frac{112600 \cdot (308 - 293)}{8.314 \cdot 308 \cdot 293}\right) = 9.5$$

$$x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \approx 3$$

*Ответ:* в 3 раза.

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



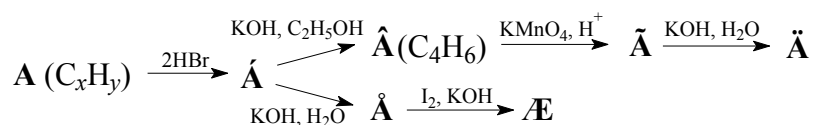
*Решение.*



- 2)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{KOH} \xrightarrow{t} 2\text{KCrO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ,
- 3)  $\text{KCrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4]$ ,
- 4)  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ,
- 5)  $2(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 + 3\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ,
- 6)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{KOH}(\text{p-p, изб}) \rightarrow 2\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + 3\text{K}_2\text{SO}_4$ .

Ответ: **X** –  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , **Y** –  $\text{KCrO}_2$ , **Z** –  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ .

8. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединения **A** и **B** – изомеры, соединения **Д** и **Ж** – гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений **A–Ж**. (12 баллов)

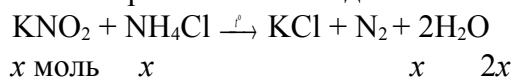


Решение.

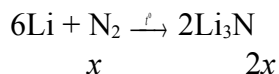
- 1)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{HBr} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CBr}_2\text{CH}_3$ ;
- 2)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CBr}_2\text{CH}_3 + 2\text{KOH}(\text{спирт. p-p}) \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3 + 2\text{KBr} + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- 3)  $5\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3 + 6\text{KMnO}_4 + 9\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 10\text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{MnSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 4)  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{KOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 5)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CBr}_2\text{CH}_3 + 2\text{KOH}(\text{водн.}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3 + 2\text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 6)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3 + 3\text{I}_2 + 4\text{KOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK} + \text{CHI}_3\downarrow + 3\text{KI} + 3\text{H}_2\text{O}$ .

9. Эквимолярную смесь нитрита калия и хлорида аммония разделили на две равные части. Газообразные продукты прокаливании первой части пропустили через хлоркальциевую трубку, а затем – над нагретым металлическим литием, при этом образовалось 2.1 г зеленовато-черного вещества **A**. Ко второй части смеси добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия, при этом образовался бурый раствор **B**. Установите состав вещества **A**, рассчитайте, на сколько увеличилась масса хлоркальциевой трубки, а также определите объем раствора сульфита калия с концентрацией 0.25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора **B**. (16 баллов)

Решение. При прокаливании первой части исходной смеси протекает реакция



Газообразные продукты – пары воды и азот. Вода в количестве  $2x$  моль поглощается безводным хлористым кальцием,  $x$  моль азота взаимодействует с литием:



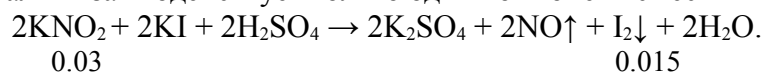
Вещество **A** – нитрид лития  $\text{Li}_3\text{N}$ , который образуется в количестве

$$\nu(\text{Li}_3\text{N}) = \frac{2 \cdot 1}{35} = 0.06 \text{ моль.}$$

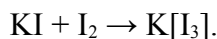
Следовательно,  $x = 0.03$  моль, и при прокаливании выделилось 0.03 моль азота и 0.06 моль воды. Увеличение массы хлоркальциевой трубки составляет

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0.06 \cdot 18 = 1.08 \text{ г.}$$

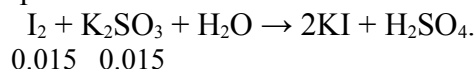
С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси –  $\text{KNO}_2$ :



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



Обесцвечивание раствора:



Для полного обесцвечивания раствора **В** потребуется следующий объем 0.25 М раствора сульфита калия:

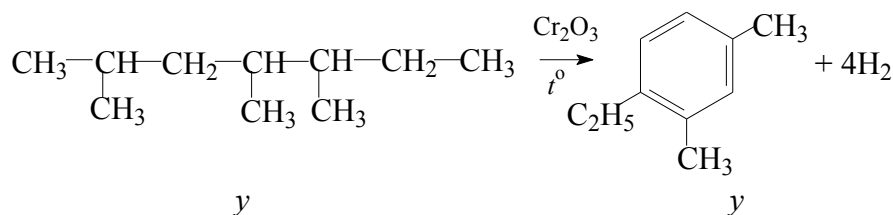
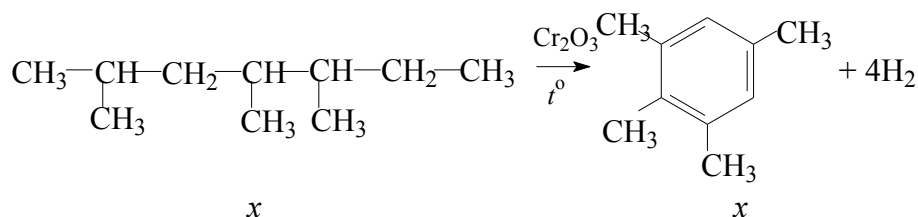
$$V = \frac{v}{c} = \frac{0.015}{0.25} = 0.06 \text{ л} = 60 \text{ мл}.$$

*Ответ:* 1.08 г, 60 мл.

**10.** При нагревании 2,4,5-триметилгептана до  $450^\circ\text{C}$  в присутствии оксида хрома получили 20.1 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)

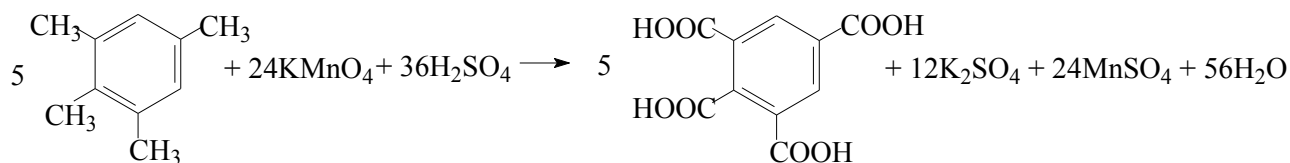
*Решение.* Найдем количества ароматических углеводородов, полученных дегидроциклизацией исходного вещества:

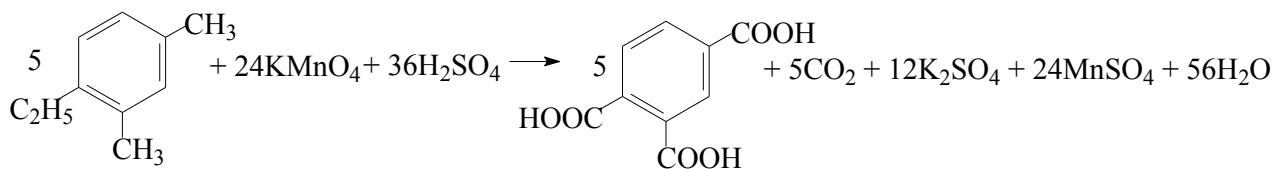


$$v(\text{C}_{10}\text{H}_{14}) = \frac{20.1}{134} = 0.15 \text{ моль},$$

$$x + y = 0.15.$$

Реакции окисления полученных ароматических углеводородов:





Количество выделившегося углекислого газа:

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

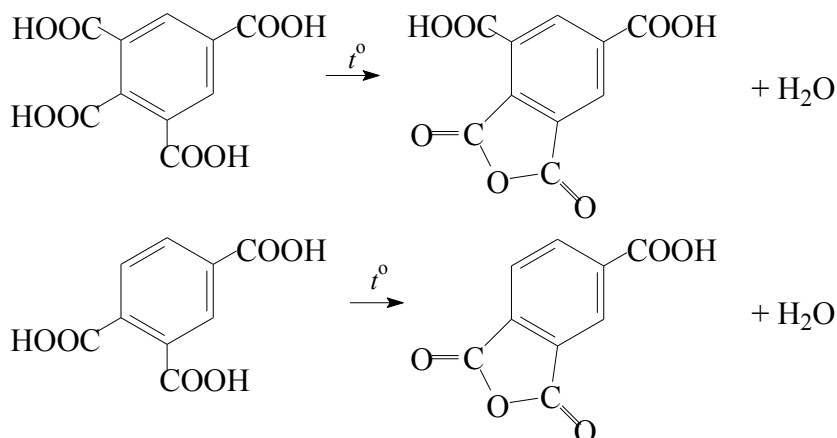
Отсюда  $y = 0.05$ ,  $x = 0.1$ .

Массы кислот:

$$m(\text{C}_{10}\text{H}_6\text{O}_8) = 0.1 \cdot 254 = 25.4 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_6) = 0.05 \cdot 210 = 10.5 \text{ г.}$$

При нагревании смеси кислот происходит образование ангидридов:



$$v(\text{H}_2\text{O}) = 0.1 + 0.05 = 0.15 \text{ моль,}$$

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

*Ответ:* бензол-1,2,3,5-тетракарбоновой кислоты 0.1 моль (25.4 г), бензол-1,2,4-трикар-боновой кислоты 0.05 моль (10.5 г); 2.7 г.

## Вариант 2

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

*Решение:*

$\text{SiO}_2$  оксид кремния(IV), диоксид кремния

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  гексацианоферрат(III) калия

$\text{K}_2\text{CO}_3$  карбонат калия

$\text{HOOC}-\text{COOH}$  этандиовая кислота

2. 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)

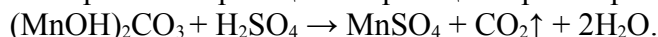
*Решение.* Неизвестное соединение имеет формулу  $\text{Mn}_x\text{H}_y\text{C}_z\text{O}_k$ . Определим содержание кислорода в нем:

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



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

Простейшая формула соединения –  $Mn_2H_2CO_5$ . Такой формуле отвечает соединение  $(MnOH)_2CO_3$  – основной карбонат марганца. Его реакция с раствором серной кислоты:

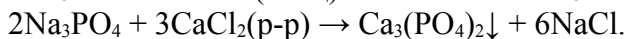
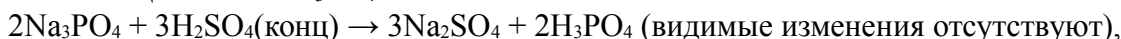


Ответ:  $(MnOH)_2CO_3$ .

3. В трех бюксах находятся белые кристаллические вещества  $NaBr$ ,  $Na_3PO_4$  и  $Na_2SO_3$ , зашифрованные под номерами I – III. Используя данные таблицы, определите, какой номер соответствует каждой из этих солей, запишите уравнения всех реакций. (6 баллов)

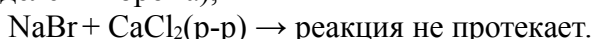
| Соль<br>Реактив  | I                     | II                                | III                |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| $H_2SO_4$ (конц) | Нет видимых изменений | Выделение газа, изменение окраски | Выделение газа     |
| $CaCl_2$ (р-р)   | Образование осадка    | Нет видимых изменений             | Образование осадка |

Решение. Вещество I –  $Na_3PO_4$ .

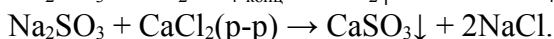
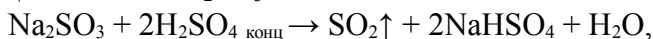


Вещество II –  $NaBr$ .

$2NaBr + 3H_2SO_4(\text{конц}) \rightarrow Br_2 + SO_2\uparrow + 2NaHSO_4 + 2H_2O$  (оранжевое окрашивание из-за выделения брома),



Вещество III –  $Na_2SO_3$ .

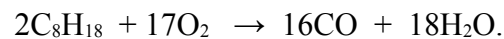
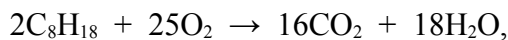


4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля кроме углекислого газа и воды образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0.70 кг/л). При сгорании 16.0 л такого бензина образовалось 49.0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы  $CO$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$ , образовавшихся при этом. Какова масса кислорода, потребовавшегося для сгорания? (8 баллов)

Решение. Масса сгоревшего октана равна  $m(C_8H_{18}) = V \cdot \rho = 16.0 \cdot 0.700 = 11.2$  кг.

Пусть  $x$  моль октана сгорело с образованием  $CO_2$ , а  $y$  моль – с образованием  $CO$ .

Тогда



Масса октана равна  $m(C_8H_{18}) = 114(x+y)$ , массы продуктов:

$$m(CO_2) = 44 \cdot 8x = 352x,$$

$$m(H_2O) = 18 \cdot 9(x+y) = 162(x+y),$$

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

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:

$$\begin{aligned} m(\text{CO}_2) &= 352x = 30.5 \text{ кг}, \\ m(\text{H}_2\text{O}) &= 162(x+y) = 15.9 \text{ кг}, \\ m(\text{CO}) &= 224y = 2.6 \text{ кг}. \end{aligned}$$

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

5. Плотность газообразной смеси двух спиртов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических спиртов, при  $175^\circ\text{C}$  и 1 атм равна  $1.0993 \text{ г/л}$ . Плотность другой смеси тех же спиртов равна  $1.7850 \text{ г/л}$  (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:

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

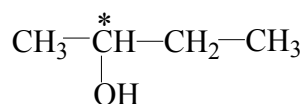
В смеси присутствует метанол, поскольку средняя молярная масса больше массы метанола, но меньше массы этанола:  $M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль}$ . Средняя молярная масса второй смеси:

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

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. Энергия активации газофазной реакции  $2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$  равна  $5.44 \text{ кДж/моль}$ . 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  $20^\circ\text{C}$ ? (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

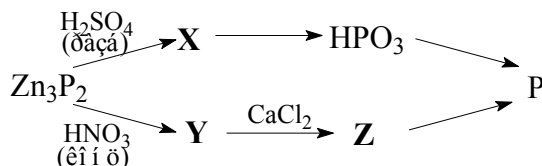
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{7}{8} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}}{e^{-\frac{E_a}{R T_2}}} = e^{\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{293} \right)}.$$

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

$$T_2 = 311.7 \text{ К.}$$

Ответ: 311.7 К.

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

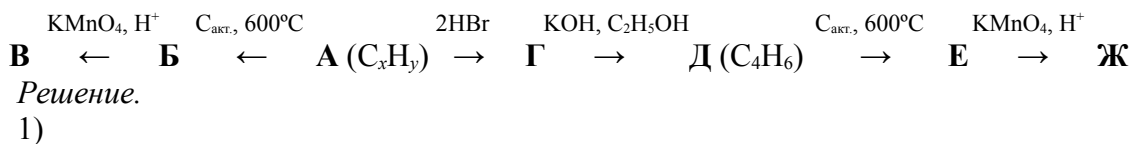


Решение.

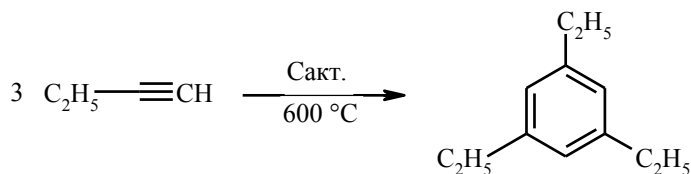
- 1)  $\text{Zn}_3\text{P}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4(\text{разб}) \rightarrow 3\text{ZnSO}_4 + 2\text{PH}_3\uparrow;$
- 2)  $\text{PH}_3 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{f}} \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O};$
- 3)  $2\text{HPO}_3 + 6\text{C} \xrightarrow{\text{f}} 2\text{P} + \text{H}_2 + 6\text{CO};$
- 4)  $\text{Zn}_3\text{P}_2 + 22\text{HNO}_3(\text{конц}) \rightarrow 3\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 16\text{NO}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O};$
- 5)  $2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaCl}_2(\text{изб}) \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{HCl};$
- 6)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + 3\text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{f}} 2\text{P} + 3\text{CaSiO}_3 + 5\text{CO}\uparrow.$

Ответ: X –  $\text{PH}_3$ , Y –  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Z –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

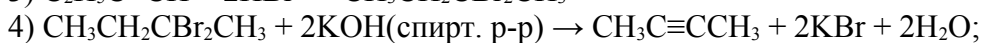
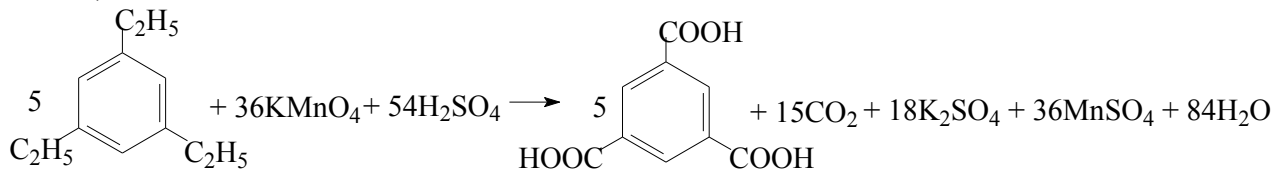
8. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединения А и Д, а также Б и Е – изомеры. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений А–Ж. (12 баллов)



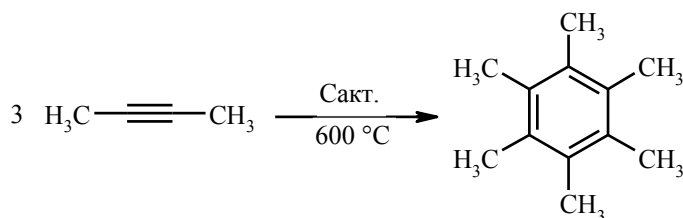
1)



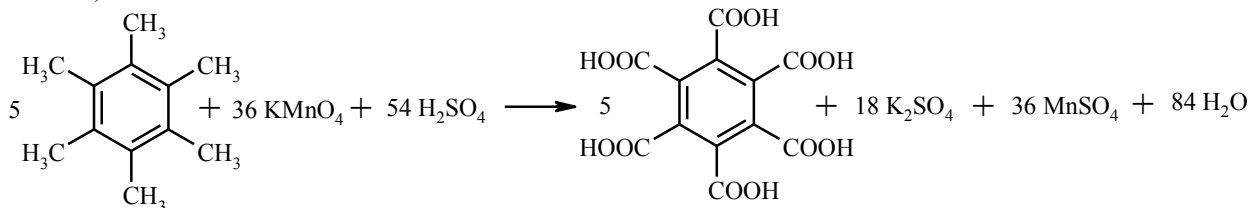
2)



5)

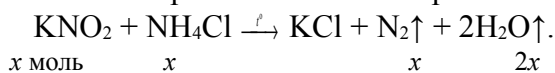


6)



9. Смесь нитрита калия и хлорида аммония, взятых в молярном соотношении 1.5 : 1, разделили на две равные части. Газообразные продукты прокаливания 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 А. Ко второй части смеси добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия, при этом образовался бурый раствор В. Установите состав и рассчитайте массу вещества А, а также определите объем раствора сульфида калия с концентрацией 0.25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора В. (16 баллов)

*Решение.* При прокаливании первой части смеси протекает реакция:

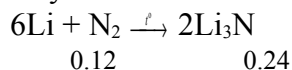


Газообразные продукты – азот и пары воды. Вода поглощается безводным хлористым кальцием, ее количество:

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

Значит,  $x = 0.12$  моль.

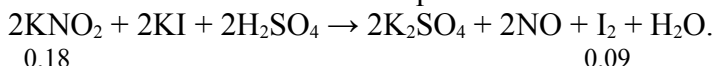
Выделившийся азот взаимодействует с литием:



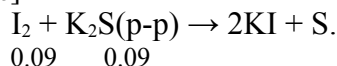
Вещество **A** – нитрид лития  $\text{Li}_3\text{N}$ , его масса равна

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

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



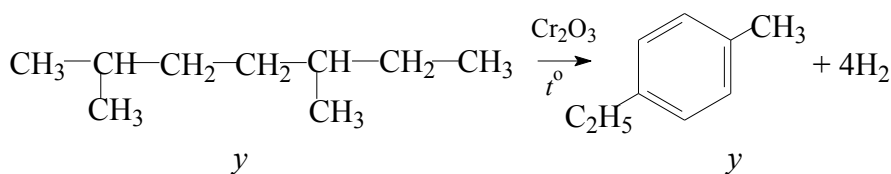
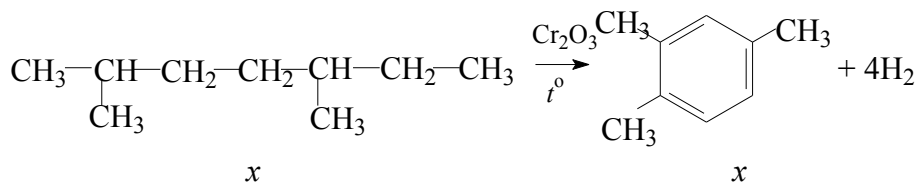
Для полного обесцвечивания раствора **B** потребуется следующий объем раствора сульфида калия:

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

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

**10.** 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)

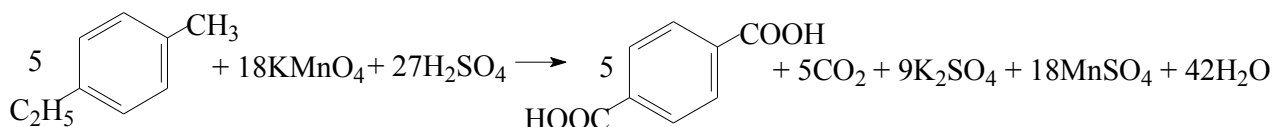
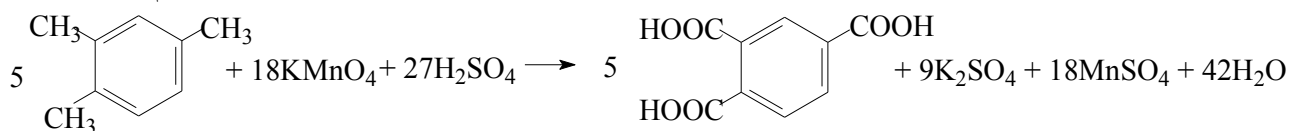
*Решение.* Найдем количества ароматических углеводородов, полученных дегидроциклизацией исходного вещества:



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

$$x + y = 0.2.$$

Реакции окисления:



Количество углекислого газа:

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

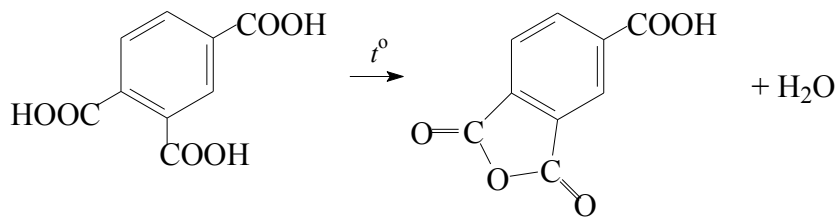
$$y = 0.05, x = 0.15.$$

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.



**2015/2016 учебный год**  
**КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ<sup>1</sup>**

**олимпиады школьников**

**«ЛОМОНОСОВ»**

**по химии**

*10-11 классы*

**ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП**

**ПОБЕДИТЕЛЬ:**

*От 90 баллов включительно и выше.*

**ПРИЗЁР:**

*От 68 баллов до 89 баллов включительно.*

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**

**ПОБЕДИТЕЛЬ (диплом I степени):**

*От 92 баллов включительно и выше.*

**ПРИЗЁР (диплом II степени):**

*От 82 баллов до 91 баллов включительно.*

**ПРИЗЁР (диплом III степени):**

*От 75 баллов до 81 баллов включительно.*

---

<sup>1</sup> Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по химии