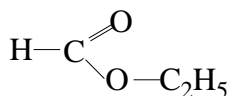


## II. Решение заданий отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии (10-11 классы)

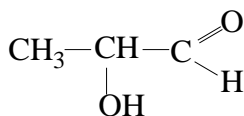
### Задача 1 (6 баллов)

**1.1.** С аммиачным раствором оксида серебра могут реагировать представители разных классов органических веществ: альдегиды и муравьиная кислота, которые вступают в реакцию «серебряного зеркала», терминальные алкины, кроме того, органические кислоты могут растворять оксид серебра и образовывать соли с серебром.

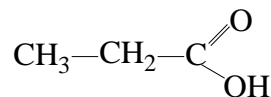
Брутто-формула  $C_3H_6O_2$  может принадлежать следующим веществам, реагирующим с аммиачным раствором оксида серебра:



*этилформиат*

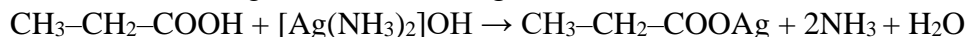
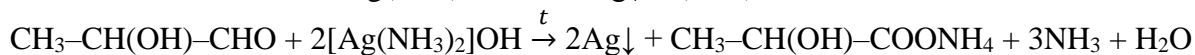
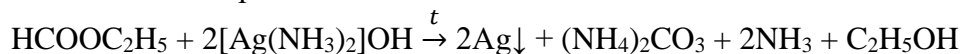


*2-гидроксипропаналь  
(возможен и 3-гидроксипропаналь)*



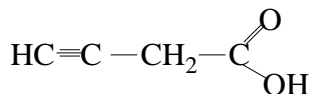
*пропионовая кислота*

Уравнения возможных реакций:

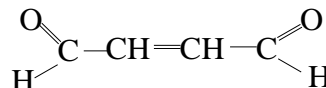


**1.2.** С аммиачным раствором оксида серебра могут реагировать представители разных классов органических веществ: альдегиды и муравьиная кислота, которые вступают в реакцию «серебряного зеркала», терминальные алкины, кроме того, органические кислоты могут растворять оксид серебра и образовывать соли с серебром.

Брутто-формула  $C_4H_4O_2$  может принадлежать следующим веществам, реагирующим с аммиачным раствором оксида серебра:

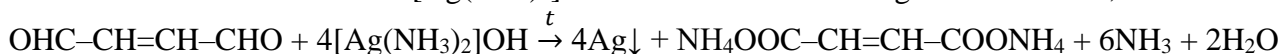
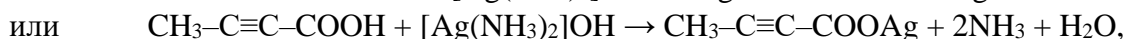
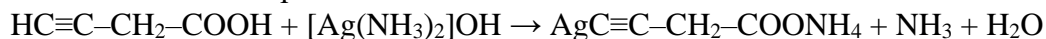


*3-бутиновая кислота  
(возможна 2-бутиновая кислота)*



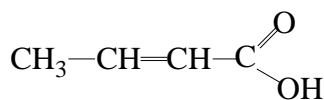
*2-бутендиаль*

Уравнения возможных реакций:

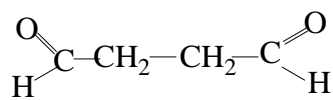


**1.3.** С раствором брома в воде могут реагировать представители разных классов органических веществ: соединения, имеющие кратные С–С связи, присоединяющие бром, а также соединения, способные окисляться бромом, например, альдегиды.

Брутто-формула  $C_4H_6O_2$  может принадлежать следующим веществам, реагирующим с раствором брома в воде:

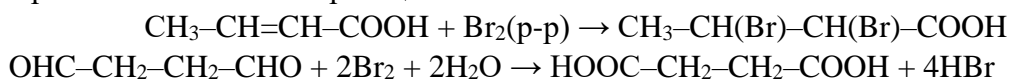


2-бутеновая кислота  
(возможна 3-бутеновая кислота)



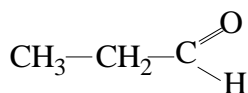
бутандиаль

Уравнения возможных реакций:



**1.4.** С раствором брома в воде могут реагировать представители разных классов органических веществ: соединения, имеющие кратные С–С связи, присоединяющие бром, а также соединения, способные окисляться бромом, например, альдегиды.

Брутто-формула  $C_3H_6O$  может принадлежать следующим веществам, реагирующим с раствором брома в воде:

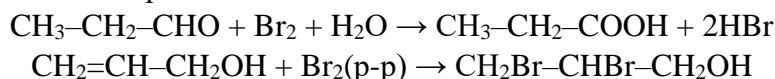


пропаналь



аллиловый спирт

Уравнения возможных реакций:



## Задача 2 (12 баллов)

**2.1.** Закон радиоактивного распада можно записать как для массы, так и для количества вещества радионуклида:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$$

где  $v_0$  – исходное количество радионуклида,  $v(t)$  – количество, оставшееся к моменту времени  $t$ ,  $\tau$  – время полураспада данного радионуклида.

Запишем закон радиоактивного распада для обоих радионуклидов ( $^{125}\text{I}$  обозначим индексом 1,  $^{124}\text{I}$  – индексом 2):

$$v_1(t) = v_{0,1} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{59.4}}$$

$$v_2(t) = v_{0,2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{4.18}}$$

Разделим первое выражение на второе:

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{59.4} - \frac{t}{4.18}} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 2^{\frac{t}{4.18} - \frac{t}{59.4}}$$

По условию, мольное соотношение в начальный момент составляло 25, а в момент  $t$  – 100. Подставим эти величины в формулу:

$$100 = 25 \cdot 2^{\frac{t}{4.18} - \frac{t}{59.4}}$$

$$4 = 2^2 = 2^{\frac{t}{4.18} - \frac{t}{59.4}}$$

отсюда 
$$2 = t \cdot \frac{59.4 - 4.18}{4.18 \cdot 59.4},$$
$$t = 8.98 \text{ сут.}$$

Можно решать эту задачу, зная, что радиоактивный распад описывается кинетикой реакций первого порядка:

$$N(t) = N_0 \exp(-kt)$$

где  $N_0$  – исходное число атомов (ядер) радионуклида,  $N(t)$  – число атомов (ядер) в момент времени  $t$ ,  $k$  – константа радиоактивного распада, связанная с периодом полураспада радионуклида  $\tau$  соотношением

$$k = \ln 2 / \tau.$$

Найдем величины констант распада для  $^{125}\text{I}$  (индекс 1) и  $^{124}\text{I}$  (индекс 2):

$$k_1 = \ln 2 / 59.4 = 0.01167 \text{ сут}^{-1},$$

$$k_2 = \ln 2 / 4.18 = 0.1658 \text{ сут}^{-1}.$$

На момент  $t = 0$  отношение чисел атомов (ядер) по условию составляло

$$N_{0,1}/N_{0,2} = 25,$$

а после хранения в течение  $t$  суток

$$N_1 / N_2 = \frac{N_{0,1} \exp(-0.01167t)}{N_{0,2} \exp(-0.1658t)} = 100,$$

$$25 \exp((0.1658 - 0.01167)t) = 100.$$

Отсюда 
$$t = \ln 4 / (0.1658 - 0.01167) = 8.99 \text{ (сут).}$$

*Ответ:* 8.98 сут.

**2.2.** Закон радиоактивного распада можно записать как для массы, так и для количества вещества радионуклида:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$$

где  $v_0$  – исходное количество радионуклида,  $v(t)$  – количество, оставшееся к моменту времени  $t$ ,  $\tau$  – время полураспада данного радионуклида.

Запишем закон радиоактивного распада для обоих радионуклидов ( $^{123}\text{I}$  обозначим индексом 1,  $^{121}\text{I}$  – индексом 2):

$$v_1(t) = v_{0,1} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{13.2}}$$

$$v_2(t) = v_{0,2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{2.12}}$$

Разделим первое выражение на второе:

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{13.2} - \frac{t}{2.12}} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 2^{\frac{t}{2.12} - \frac{t}{13.2}}$$

Примем момент времени  $t = 6.6$  ч за начальный момент, тогда интересующему нас моменту соответствует время  $t = 13.2 - 6.6 = 6.6$  ч. По условию, мольное соотношение радионуклидов в начальный момент составляло 24.5. Подставим эти величины в формулу:

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = 24.5 \cdot 2^{\frac{6.6}{2.12} - \frac{6.6}{13.2}} = 24.5 \cdot 6.118 = 149.9.$$

Можно решать эту задачу, зная, что радиоактивный распад описывается кинетикой реакций первого порядка:

$$N(t) = N_0 \exp(-kt)$$

где  $N_0$  – исходное число атомов (ядер) радионуклида,  $N(t)$  – число атомов (ядер) в момент времени  $t$ ,  $k$  – константа радиоактивного распада, связанная с периодом полураспада радионуклида  $\tau$  соотношением

$$k = \ln 2 / \tau.$$

Константы распада для  $^{123}\text{I}$  (индекс 1) и  $^{121}\text{I}$  (индекс 2):

$$k_1 = \ln 2 / 13.2 = 0.0525 \text{ ч}^{-1},$$

$$k_2 = \ln 2 / 2.12 = 0.3270 \text{ ч}^{-1}.$$

Примем момент времени  $t = 6.6$  ч за начальный момент ( $t = 0$ ), тогда интересующему нас моменту соответствует время  $t = 13.2 - 6.6 = 6.6$  ч. На момент  $t = 0$  отношение чисел атомов (ядер) по условию составляло

$$N_{0,1}/N_{0,2} = 24.5,$$

а после хранения в течение 6.6 ч

$$N_1 / N_2 = \frac{N_{0,1} \exp(-0.0525 \cdot 6.6)}{N_{0,2} \exp(-0.3270 \cdot 6.6)} = 149.9.$$

*Ответ:* 149.9.

**2.3.** Закон радиоактивного распада можно записать как для массы, так и для количества вещества радионуклида:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$$

где  $v_0$  – исходное количество радионуклида,  $v(t)$  – количество, оставшееся к моменту времени  $t$ ,  $\tau$  – время полураспада данного радионуклида.

Запишем закон радиоактивного распада для обоих радионуклидов ( $^{35}\text{S}$  обозначим индексом 1,  $^{32}\text{P}$  – индексом 2):

$$v_1(t) = v_{0,1} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{87.0}}$$

$$v_2(t) = v_{0,2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{14.4}}$$

Разделим первое выражение на второе:

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{87.0} - \frac{10}{14.4}} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 2^{\frac{10}{14.4} - \frac{10}{87.0}} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 1.4943$$

По условию, через 10 суток молярное соотношение составляло

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = 180.$$

Подставим эту величину в формулу:

$$180 = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 1.4943,$$

отсюда

$$\frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} = 120.5.$$

Можно решать эту задачу, зная, что радиоактивный распад описывается кинетикой реакций первого порядка:

$$N(t) = N_0 \exp(-kt)$$

где  $N_0$  – исходное число атомов (ядер) радионуклида,  $N(t)$  – число атомов (ядер) в момент времени  $t$ ,  $k$  – константа радиоактивного распада, связанная с периодом полураспада радионуклида  $\tau$  соотношением

$$k = \ln 2 / \tau.$$

Найдем величины констант распада для  $^{35}\text{S}$  (индекс 1) и  $^{32}\text{P}$  (индекс 2):

$$k_1 = \ln 2 / 87 = 0.00797 \text{ сут}^{-1},$$

$$k_2 = \ln 2 / 14.4 = 0.0481 \text{ сут}^{-1}.$$

На момент времени  $t$  отношение чисел атомов составляет

$$N_1 / N_2 = \frac{N_{0,1} \exp(-0.00797t)}{N_{0,2} \exp(-0.0481t)},$$

На момент  $t = 10$  сут отношение чисел атомов по условию равно

$$N_1 / N_2 = \frac{N_{0,1} \exp(-0.00797 \cdot 10)}{N_{0,2} \exp(-0.0481 \cdot 10)} = 180,$$

отсюда

$$N_{0,1}/N_{0,2} = 120.5.$$

*Ответ:* в 120.5 раза.

**2.4.** Закон радиоактивного распада можно записать как для массы, так и для количества вещества радионуклида:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$$

где  $v_0$  – исходное количество радионуклида,  $v(t)$  – количество, оставшееся к моменту времени  $t$ ,  $\tau$  – время полураспада данного радионуклида.

Запишем закон радиоактивного распада для обоих радионуклидов ( $^{35}\text{S}$  обозначим индексом 1,  $^{32}\text{P}$  – индексом 2):

$$v_1(t) = v_{0,1} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{87.0}}$$

$$v_2(t) = v_{0,2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{14.4}}$$

Разделим первое выражение на второе:

$$\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{87.0} - \frac{t}{14.4}} = \frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} \cdot 2^{\frac{t}{14.4} - \frac{t}{87.0}}$$

По условию, мольное соотношение в момент  $t$  должно равняться 1, а в начальный момент оно составляло

$$\frac{v_{0,1}}{v_{0,2}} = \frac{1.76 \cdot 10^{-4}}{2.2 \cdot 10^{-4}} = 0.8$$

Подставим эти величины в формулу:

$$1 = 0.8 \cdot 2^{\frac{t}{14.4} - \frac{t}{87.0}}$$

$$1.25 = 2^{\frac{t}{14.4} - \frac{t}{87.0}}$$

Отсюда, прологарифмировав, получим

$$\lg 1.25 = t \cdot \frac{87.0 - 14.4}{14.4 \cdot 87.0} \cdot \lg 2,$$

$$t = 5.56 \text{ (сут.)}$$

Можно решать эту задачу, зная, что радиоактивный распад описывается кинетикой реакций первого порядка:

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-kt)$$

где  $N_0$  – исходное число атомов (ядер) радионуклида,  $N(t)$  – число атомов (ядер) в момент времени  $t$ ,  $k$  – константа радиоактивного распада, связанная с периодом полураспада радионуклида  $\tau$  соотношением

$$k = \ln 2 / \tau.$$

Найдем величины констант распада для  $^{35}\text{S}$  (индекс 1) и  $^{32}\text{P}$  (индекс 2):

$$k_1 = \ln 2 / 87 = 0.00797 \text{ сут}^{-1},$$

$$k_2 = \ln 2 / 14.4 = 0.0481 \text{ сут}^{-1}.$$

На момент  $t = 0$  отношение чисел атомов (ядер) составляет

$$N_{0,1}/N_{0,2} = 1.76 / 2.2 = 0.8,$$

а после хранения в течение  $t$  суток

$$N_1 / N_2 = \frac{N_{0,1} \exp(-0.00797t)}{N_{0,2} \exp(-0.0481t)} = 1,$$

$$0.8 \exp((0.0481 - 0.00797)t) = 1,$$

$$t = 5.56 \text{ (сут.)}$$

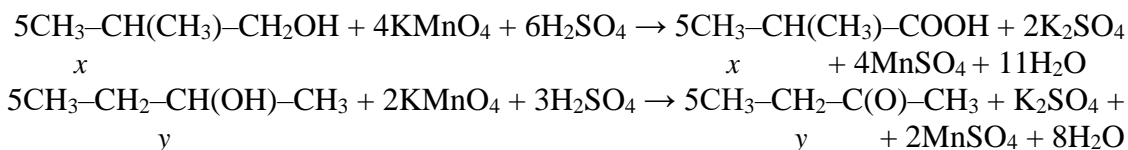
*Ответ:* 5.56 сут.

### Задача 3 (12 баллов)

**3.1.** 1) Логично предположить, что бутанон был получен из бутанола-2, тогда вторым изомерным спиртом с неразветвленным скелетом может быть только бутанол-1. Реакции окисления:



**3.3.** 1) Логично предположить, что метилпропановая кислота была получена из метилпропанола-1, тогда вторым изомерным спиртом может быть бутанол-2. Реакции окисления:



Равенство масс:

$$\begin{aligned} 74x + 74y &= 88x + 72y \\ 7x &= y \end{aligned}$$

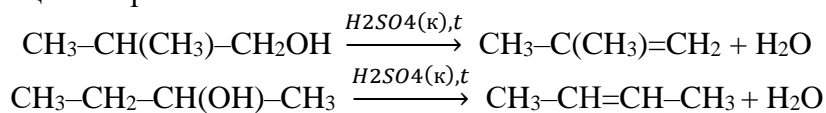
Поскольку спирты – изомеры, в смеси их мольные доли равны массовым:

$$\begin{aligned} \omega(\text{метилпропанол-1}) &= 1 / 8 = 0.125 \text{ (12.5\%)}, \\ \omega(\text{бутанол-2}) &= 7 / 8 = 0.875 \text{ (87.5\%)}. \end{aligned}$$

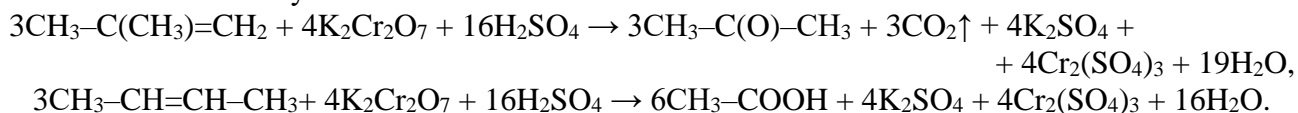
В конечной смеси:

$$\begin{aligned} \omega(\text{кислоты}) &= 88 \cdot 0.125 / 88 = 0.1449 \text{ (14.49\%)}, \\ \omega(\text{кетона}) &= 0.8551 \text{ (85.51\%)}. \end{aligned}$$

2) Дегидратация спиртов:

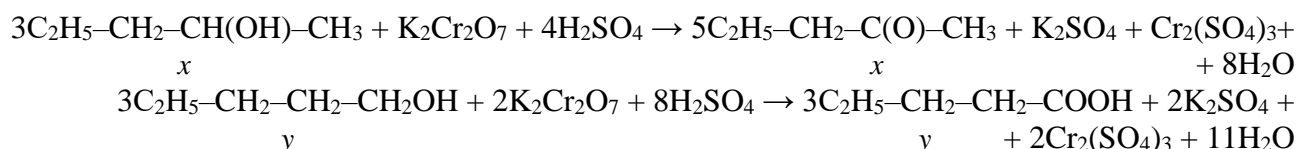


Окисление полученных алкенов:



*Ответ.* Исходная смесь: 12.5% метилпропанола-1, 87.5% бутанола-2, конечная смесь: 14.49% метилпропановой кислоты, 85.51% бутанола-2.

**3.4.** 1) Логично предположить, что пентанон-2 был получен из пентанола-2, тогда вторым изомерным спиртом с неразветвленным скелетом может быть только пентанол-1. Реакции окисления:



Равенство масс:

$$\begin{aligned} 88x + 88y &= 86x + 102y \\ x &= 7y \end{aligned}$$

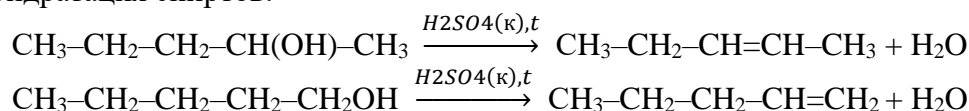
Поскольку спирты – изомеры, в их смеси мольные доли равны массовым:

$$\begin{aligned} \omega(\text{пентанол-2}) &= 7 / 8 = 0.875 \text{ (87.5\%)}, \\ \omega(\text{пентанол-1}) &= 1 / 8 = 0.125 \text{ (12.5\%)}. \end{aligned}$$

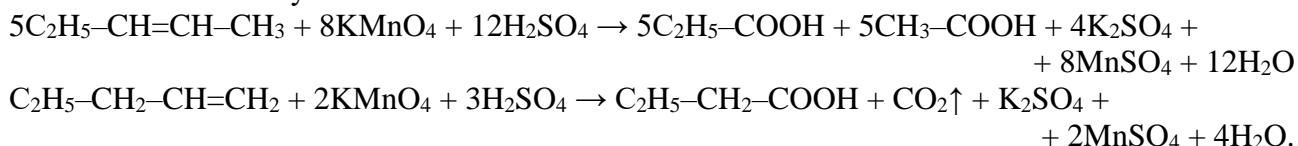
В конечной смеси:

$$\begin{aligned} \omega(\text{кетона}) &= 86 \cdot 0.875 / 88 = 0.855 \text{ (85.5\%)}, \\ \omega(\text{кислоты}) &= 0.145 \text{ (14.5\%)}. \end{aligned}$$

2) Дегидратация спиртов:



Окисление полученных алкенов:



*Ответ.* Исходная смесь: 87.5% пентанола-2, 12.5% пентанола-1, конечная смесь: 85.5% пентанола-2, 14.5% пентановой кислоты.

#### Задача 4 (14 баллов)

##### 4.1. Средняя молярная масса газовой смеси

$$M(\text{ср}) = 2 \cdot 15.275 = 30.55 \text{ (г/моль)},$$

суммарное количество вещества газов

$$\nu(\text{смеси}) = 101.3 \cdot 35.69 / (8.314 \cdot 290) = 1.5 \text{ моль.}$$

Пусть в смеси содержится  $x$  моль хлороводорода и  $(1.5 - x)$  моль азота, тогда масса смеси

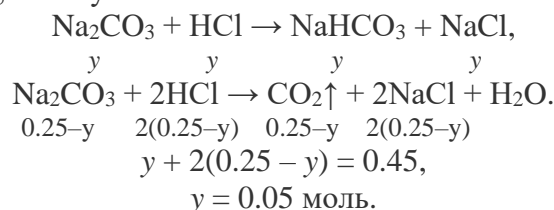
$$36.5x + 28(1.5 - x) = 30.55 \cdot 1.5,$$

$$x = 0.45 \text{ моль.}$$

В первом сосуде содержится карбоната натрия

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 265 \cdot 0.1 / 106 = 0.25 \text{ моль.}$$

При таком соотношении хлороводорода и карбоната натрия в первом сосуде образуется как гидрокарбонат натрия, так и углекислый газ:



Таким образом, в первом сосуде полностью поглощается хлороводород, образуются соли  $\text{NaHCO}_3$  в количестве 0.05 моль,  $\text{NaCl}$  в количестве 0.45 моль и выделяется 0.20 моль углекислого газа.

Масса раствора в первом сосуде после пропускания газовой смеси

$$m_1 = 265 + 36.5 \cdot 0.45 - 44 \cdot 0.2 = 272.6 \text{ г,}$$

массовые доли солей составляют

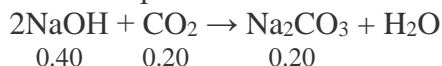
$$\omega(\text{NaHCO}_3) = 84 \cdot 0.05 / 272.6 = 0.0154 \text{ (или 1.54\%)},$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 58.5 \cdot 0.45 / 272.6 = 0.0966 \text{ (или 9.66\%)}.$$

Во втором сосуде содержится гидроксид натрия

$$\nu(\text{NaOH}) = 2.80 \cdot 0.1786 = 0.50 \text{ моль.}$$

Выделившийся в первом сосуде углекислый газ полностью поглощается во втором, при этом образуется 0.20 моль карбоната натрия:



и остается непрореагировавший гидроксид натрия

$$\nu(\text{NaOH})_{\text{изб.}} = 0.50 - 0.40 = 0.10 \text{ моль.}$$

Масса раствора во втором сосуде после поглощения углекислого газа равна

$$m_2 = 178.6 \cdot 1.12 + 44 \cdot 0.20 = 208.8 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ во втором растворе:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \cdot 0.20 / 208.8 = 0.1015 \text{ (или 10.2\%)},$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 40 \cdot 0.10 / 208.8 = 0.0192 \text{ (или 1.9\%)}.$$

*Ответ:* 1) 1.54%  $\text{NaHCO}_3$ , 9.66%  $\text{NaCl}$ ; 2) 10.2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1.9%  $\text{NaOH}$ .

##### 4.2. Средняя молярная масса газовой смеси

$$M(\text{ср}) = 4 \cdot 12.99 = 51.96 \text{ (г/моль)},$$

суммарное количество вещества газов

$$\nu(\text{смеси}) = 101.3 \cdot 29.05 / (8.314 \cdot 295) = 1.2 \text{ моль.}$$

Пусть в смеси  $x$  моль бромоводорода и  $(1.2 - x)$  моль аргона, тогда масса смеси

$$81x + 40(1.2 - x) = 51.96 \cdot 1.2,$$

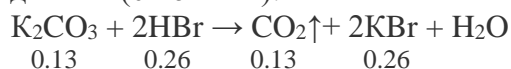


$$x = 0.35 \text{ моль.}$$

В первом сосуде содержится карбоната калия

$$v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 156 \cdot 0.115 / 138 = 0.13 \text{ моль.}$$

При таком соотношении бромоводорода и карбоната калия образуется углекислый газ в количестве 0.13 моль, бромид калия (0.26 моль):



и остается в растворе непрореагировавший бромоводород:

$$v(\text{HBr})_{\text{изб.}} = 0.35 - 0.26 = 0.09 \text{ моль.}$$

Масса раствора в первом сосуде после пропускания газовой смеси

$$m_1 = 156.0 + 81 \cdot 0.35 - 44 \cdot 0.13 = 178.6 \text{ г,}$$

массовые доли веществ составляют

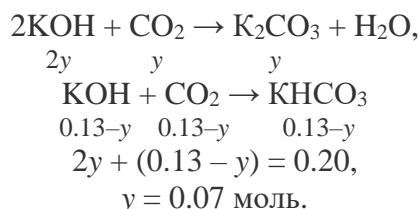
$$\omega(\text{KBr}) = 119 \cdot 0.26 / 178.6 = 0.1732 \text{ (или 17.3\%),}$$

$$\omega(\text{HBr}) = 81 \cdot 0.09 / 178.6 = 0.0408 \text{ (или 4.1\%).}$$

Во втором сосуде содержится гидроксида калия

$$v(\text{KOH}) = 0.84 \cdot 0.2381 = 0.20 \text{ моль.}$$

При таком соотношении гидроксида калия и углекислого газа образуются как карбонат калия, так и гидрокарбонат калия:



Во втором сосуде полностью поглощается углекислый газ, образуются соли  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в количестве 0.07 моль и  $\text{KHCO}_3$  (0.06 моль).

Масса раствора во втором сосуде после поглощения углекислого газа равна

$$m_2 = 238.1 \cdot 1.050 + 44 \cdot 0.13 = 255.7 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ во втором растворе:

$$\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 138 \cdot 0.07 / 255.7 = 0.0378 \text{ (или 3.8\%),}$$

$$\omega(\text{KHCO}_3) = 100 \cdot 0.06 / 255.7 = 0.0235 \text{ (или 2.4\%).}$$

*Ответ:* 1) 17.3% KBr, 4.1% HBr; 2) 3.8%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 2.4%  $\text{KHCO}_3$ .

#### 4.3. Средняя молярная масса газовой смеси

$$M(\text{cp}) = 2 \cdot 19.325 = 38.65 \text{ г/моль,}$$

суммарное количество вещества газов

$$v(\text{смеси}) = 101.3 \cdot 15.63 / (8.314 \cdot 293) = 0.65 \text{ моль.}$$

Пусть в смеси содержится  $x$  моль HCl и  $(0.65 - x)$  моль аргона, тогда масса смеси

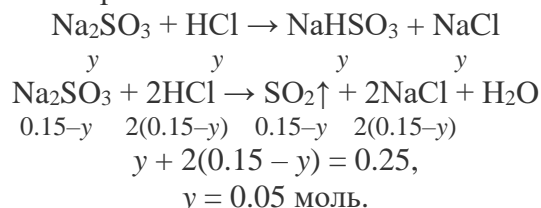
$$36.5x + 40(0.65 - x) = 38.65 \cdot 0.65,$$

$$x = 0.25 \text{ моль.}$$

В первом сосуде содержится сульфита натрия

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 157.5 \cdot 0.12 / 126 = 0.15 \text{ моль.}$$

При таком соотношении хлороводорода и сульфита натрия в первом сосуде образуется как гидросульфит натрия, так и сернистый газ:



Таким образом, в первом сосуде полностью поглощается хлороводород, образуются соли  $\text{NaHSO}_3$  в количестве 0.05 моль,  $\text{NaCl}$  (0.25 моль) и выделяется 0.10 моль сернистого газа.

Масса раствора в первом сосуде после пропускания газовой смеси

$$m_1 = 157.5 + 36.5 \cdot 0.25 - 64 \cdot 0.1 = 160.2 \text{ г,}$$

массовые доли солей составляют

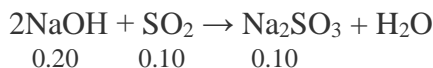
$$\omega(\text{NaHSO}_3) = 104 \cdot 0.05 / 160.2 = 0.0324 \text{ (или 3.2\%),}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 58.5 \cdot 0.25 / 160.2 = 0.0913 \text{ (или 9.1\%).}$$

Во втором сосуде содержится гидроксида натрия

$$\nu(\text{NaOH}) = 2.2 \cdot 0.1136 = 0.25 \text{ моль.}$$

Выделившийся в первом сосуде сернистый газ полностью поглощается во втором, при этом образуется сульфит натрия в количестве 0.10 моль:



и остается непрореагировавший гидроксид натрия

$$\nu(\text{NaOH})_{\text{изб.}} = 0.25 - 0.20 = 0.05 \text{ моль.}$$

Масса раствора во втором сосуде после поглощения сернистого газа

$$m_2 = 113.6 \cdot 1.08 + 64 \cdot 0.10 = 129.1 \text{ г,}$$

массовые доли веществ в растворе составляют

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 126 \cdot 0.10 / 129.1 = 0.0976 \text{ (или 9.8\%),}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 40 \cdot 0.05 / 129.1 = 0.0155 \text{ (или 1.6\%).}$$

*Ответ:* 1) 3.2% NaHSO<sub>3</sub>, 9.1% NaCl; 2) 9.8% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 1.6% NaOH.

#### 4.4. Средняя молярная масса газовой смеси

$$M_{\text{смеси}} = 4 \cdot 20.76 = 83.04 \text{ г/моль,}$$

суммарное количество вещества газов

$$\nu(\text{смеси}) = 101.3 \cdot 30.15 / (8.314 \cdot 294) = 1.25 \text{ моль.}$$

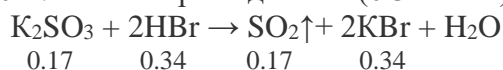
Пусть в смеси содержится  $x$  моль бромоводорода и  $(1.25 - x)$  моль криптона, тогда масса смеси

$$\begin{aligned} 81x + 84(1.25 - x) &= 83.04 \cdot 1.25, \\ x &= 0.4 \text{ моль.} \end{aligned}$$

В первом сосуде содержится сульфита калия

$$\nu(\text{K}_2\text{SO}_3) = 218.4 \cdot 0.123 / 158 = 0.17 \text{ моль.}$$

При таком соотношении бромоводорода и сульфита калия в первом сосуде образуется сернистый газ в количестве 0.17 моль и бромид калия (0.34 моль):



и остается в растворе непрореагировавший бромоводород:

$$\nu(\text{HBr})_{\text{изб.}} = 0.4 - 0.34 = 0.06 \text{ моль.}$$

Масса раствора в первом сосуде после пропускания газовой смеси

$$m_1 = 218.4 + 81 \cdot 0.4 - 64 \cdot 0.17 = 239.9 \text{ г,}$$

массовые доли веществ составляют

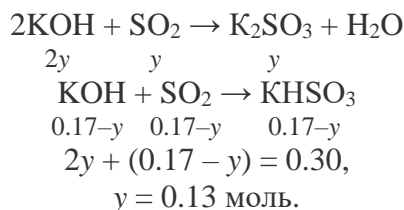
$$\omega(\text{KBr}) = 119 \cdot 0.34 / 239.9 = 0.1686 \text{ (или 16.9\%),}$$

$$\omega(\text{HBr}) = 81 \cdot 0.06 / 239.9 = 0.0202 \text{ (или 2.0\%).}$$

Во втором сосуде содержится гидроксида калия

$$\nu(\text{KOH}) = 0.95 \cdot 0.3158 = 0.30 \text{ моль.}$$

При таком соотношении гидроксида калия и сернистого газа образуются как сульфит калия, так и гидросульфит калия:



Во втором сосуде полностью поглощается сернистый газ, образуются соли  $K_2SO_3$  в количестве 0.13 моль и  $KHSO_3$  (0.04 моль).

Масса раствора во втором сосуде после поглощения сернистого газа

$$m_2 = 315.8 \cdot 1.040 + 64 \cdot 0.17 = 339.3 \text{ г,}$$

массовые доли веществ в растворе составляют

$$\omega(K_2SO_3) = 158 \cdot 0.13 / 339.3 = 0.0605 \text{ (или 6.0\%),}$$

$$\omega(KHSO_3) = 120 \cdot 0.04 / 339.3 = 0.0141 \text{ (или 1.4\%).}$$

*Ответ:* 1) 16.9%  $KBr$ , 2.0%  $HBr$ ; 2) 6.0%  $K_2SO_3$ , 1.4%  $KHSO_3$ .

## Задача 5 (12 баллов)

**5.1.** 1) Тепловой эффект обратной реакции по закону Гесса составляет

$$Q = Q_{обр}(\text{норборнадиен}) - Q_{обр}(\text{квадрициклан}) = -241.5 - (-334.0) = 92.5 \text{ кДж/моль,}$$

молярные массы изомеров 92 г/моль, поэтому удельный тепловой эффект (на 1 кг) равен

$$Q = 92.5 \cdot 1000 / 92 = 1005 \text{ кДж/кг.}$$

2) Поскольку вклады различных замещающих групп в величину теплоты образования по условию задачи аддитивны, величина  $Q = 92.5$  кДж/моль останется неизменной для всех трех соединений, а удельная энергия будет определяться их молярной массой. Рассчитаем молярные массы всех трех веществ:

$$M_1 = 360 \text{ г/моль, } M_2 = 244 \text{ г/моль, } M_3 = 193 \text{ г/моль.}$$

Определим удельные тепловые эффекты реакции для трех соединений:

$$Q_1 = 92.5 \cdot 1000 / 360 = 256.9 \text{ кДж/кг,}$$

$$Q_2 = 92.5 \cdot 1000 / 244 = 379.0 \text{ кДж/кг,}$$

$$Q_3 = 92.5 \cdot 1000 / 193 = 479.3 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, наибольшую теплоотдачу дает третье соединение, и его можно рекомендовать для практического применения. Также условию  $Q > 300$  кДж/кг отвечает второе соединение, а соединение **1** оказалось неэффективным для практического использования.

*Ответ:* 1005 кДж/кг, соединения **3** и **2**.

**5.2.** 1) Тепловой эффект обратной реакции по закону Гесса составляет

$$Q = Q_{обр}(\text{норборнадиен}) - Q_{обр}(\text{квадрициклан}) = -241.5 - (-334.0) = 92.5 \text{ кДж/моль,}$$

молярные массы изомеров 92 г/моль, поэтому удельный тепловой эффект (на 1 кг) равен

$$Q = 92.5 \cdot 1000 / 92 = 1005 \text{ кДж/кг.}$$

2) Поскольку вклады различных замещающих групп в величину теплоты образования по условию задачи аддитивны, величина  $Q = 92.5$  кДж/моль останется неизменной для всех трех соединений, а удельная энергия будет определяться их молярной массой. Рассчитаем молярные массы всех трех веществ:

$$M_1 = 142 \text{ г/моль, } M_2 = 294 \text{ г/моль, } M_3 = 324 \text{ г/моль.}$$

Определим удельные тепловые эффекты реакции для трех соединений:

$$Q_1 = 92.5 \cdot 1000 / 142 = 651.4 \text{ кДж/кг,}$$

$$Q_2 = 92.5 \cdot 1000 / 294 = 314.6 \text{ кДж/кг,}$$

$$Q_3 = 92.5 \cdot 1000 / 324 = 285.5 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, наибольшую теплоотдачу дает первое соединение, и его можно рекомендовать для практического применения. Также условию  $Q > 300$  кДж/кг отвечает второе соединение, а третье соединение оказалось неэффективным для практического использования.

*Ответ:* 1005 кДж/кг, соединения **1** и **2**.

5.3. 1) Тепловой эффект обратной реакции по закону Гесса составляет

$$Q = Q_{\text{обр}}(\text{норборнадиен}) - Q_{\text{обр}}(\text{квадрициклан}) = -241.5 - (-334.0) = 92.5 \text{ кДж/моль},$$

молярные массы изомеров 92 г/моль, поэтому удельный тепловой эффект (на 1 кг) равен

$$Q = 92.5 \cdot 1000 / 92 = 1005 \text{ кДж/кг}.$$

2) Поскольку вклады различных замещающих групп в величину теплоты образования по условию задачи аддитивны, величина  $Q = 92.5$  кДж/моль останется неизменной для всех трех соединений, а удельная энергия будет определяться их молярной массой. Рассчитаем молярные массы всех трех веществ:

$$M_1 = 208 \text{ г/моль}, M_2 = 157 \text{ г/моль}, M_3 = 320 \text{ г/моль}.$$

Рассчитываем удельные тепловые эффекты реакции для трех соединений:

$$Q_1 = 92.5 \cdot 1000 / 208 = 447.7 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_2 = 92.5 \cdot 1000 / 157 = 589.2 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_3 = 92.5 \cdot 1000 / 320 = 289.1 \text{ кДж/кг}.$$

Таким образом, наибольшую теплоотдачу дает второе соединение, и его можно рекомендовать для практического применения. Также условию  $Q > 300$  кДж/кг отвечает первое соединение, а третье соединение неэффективно для практического использования.

*Ответ:* 1005 кДж/кг, соединения **2** и **1**.

5.4. 1) Тепловой эффект обратной реакции по закону Гесса составляет

$$Q = Q_{\text{обр}}(\text{норборнадиен}) - Q_{\text{обр}}(\text{квадрициклан}) = -241.5 - (-334.0) = 92.5 \text{ кДж/моль},$$

молярные массы изомеров 92 г/моль, поэтому удельный тепловой эффект (на 1 кг) равен

$$Q = 92.5 \cdot 1000 / 92 = 1005 \text{ кДж/кг}.$$

2) Поскольку вклады различных замещающих групп в величину теплоты образования по условию задачи аддитивны, величина  $Q = 92.5$  кДж/моль останется неизменной для всех трех соединений, а удельная энергия будет определяться их молярной массой. Рассчитаем молярные массы всех трех веществ:

$$M_1 = 327 \text{ г/моль}, M_2 = 175 \text{ г/моль}, M_3 = 345 \text{ г/моль}.$$

Рассчитываем удельные тепловые эффекты реакции для трех соединений:

$$Q_1 = 92.5 \cdot 1000 / 327 = 282.9 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_2 = 92.5 \cdot 1000 / 175 = 528.6 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_3 = 92.5 \cdot 1000 / 345 = 268.1 \text{ кДж/кг}.$$

Таким образом, наибольшую теплоотдачу дает второе соединение, и его можно рекомендовать для практического применения. Соединения **1** и **3** неэффективны для практического использования.

*Ответ:* 1005 кДж/кг, соединение **2**.

## Задача 6 (14 баллов)

6.1. Одноосновная кислота диссоциирует обратимо



Константа диссоциации кислоты равна

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$

где  $c$  – концентрация раствора кислоты,  $[\text{H}^+]$  – равновесная концентрация ионов  $\text{H}^+$  в растворе.

Концентрация ионов  $\text{H}^+$  связана со значением рН раствором следующим соотношением:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Обозначим концентрацию ионов водорода в первом растворе как  $x_1$ , во втором –  $x_2$ . Тогда

$$x_1 = 10^{-\text{pH}_1},$$

$$x_2 = 10^{-\text{pH}_2}.$$

При разбавлении раствора кислоты рН возрастает, поэтому

и

$$x_1 / x_2 = 10^{\text{pH}_2 - \text{pH}_1} = 10^{0.598} = 3.963,$$

отсюда получаем соотношение  $x_1 = 3.963x_2$ .

Запишем выражения для константы диссоциации кислоты НА для обоих растворов и приравняем правые части выражений:

$$K = \frac{x_1^2}{0.01 - x_1},$$

$$K = \frac{x_2^2}{0.001 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{0.01 - x_1} = \frac{x_2^2}{0.001 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{0.01 - x_1}{0.001 - x_2}.$$

Подставим полученное ранее соотношение и найдем концентрацию ионов водорода во втором растворе:

$$3.963^2 = (0.01 - 3.963x_2) / (0.001 - x_2),$$

$$x_2 = 4.86 \cdot 10^{-4} \text{ (моль/л)}.$$

Рассчитаем значение константы диссоциации, воспользовавшись формулой, записанной для второго раствора:

$$K = (4.86 \cdot 10^{-4})^2 / (0.001 - 4.86 \cdot 10^{-4}) = 4.59 \cdot 10^{-4}.$$

Ответ:  $4.59 \cdot 10^{-4}$ .

## 6.2. Одноосновная кислота диссоциирует обратимо



Константа диссоциации кислоты

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$

где  $c$  – концентрация раствора кислоты,  $[\text{H}^+]$  – равновесная концентрация ионов  $\text{H}^+$  в растворе. Концентрация ионов  $\text{H}^+$  связана со значением pH раствора следующим соотношением:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Обозначим концентрацию ионов водорода в первом растворе как  $x_1$ , во втором –  $x_2$ . Тогда

$$x_1 = 10^{-\text{pH}_1},$$

$$x_2 = 10^{-\text{pH}_2}.$$

При разбавлении раствора кислоты pH возрастает, поэтому

$$0.7 = \text{pH}_2 - \text{pH}_1$$

и

$$x_1 / x_2 = 10^{\text{pH}_2 - \text{pH}_1} = 10^{0.7} = 5.012,$$

отсюда получаем соотношение  $x_1 = 5.012x_2$ .

Запишем выражения для константы диссоциации кислоты НА для двух растворов и приравняем правые части выражений:

$$K = \frac{x_1^2}{0.02 - x_1},$$

$$K = \frac{x_2^2}{0.00133 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{0.02 - x_1} = \frac{x_2^2}{0.00133 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{0.02 - x_1}{0.00133 - x_2}.$$

Подставим полученное ранее соотношение и найдем концентрацию ионов водорода во втором растворе:

$$5.012^2 = (0.02 - 5.012x_2) / (0.00133 - x_2),$$

$$x_2 = 6.71 \cdot 10^{-4} \text{ (моль/л)}.$$

Рассчитаем значение константы диссоциации, воспользовавшись формулой, записанной для второго раствора:

$$K = (6.71 \cdot 10^{-4})^2 / (0.00133 - 6.71 \cdot 10^{-4}) = 6.8 \cdot 10^{-4}.$$

Ответ:  $6.8 \cdot 10^{-4}$ .

### 6.3. Одноосновная кислота диссоциирует обратимо



Константа диссоциации кислоты равна

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]}$$

где  $c$  – концентрация раствора кислоты,  $[\text{H}^+]$  – равновесная концентрация ионов  $\text{H}^+$  в растворе.

Концентрация ионов  $\text{H}^+$  связана со значением pH раствора следующим соотношением:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Обозначим концентрацию ионов водорода в первом растворе как  $x_1$ , во втором –  $x_2$ . Тогда

$$x_1 = 10^{-\text{pH}_1},$$

$$x_2 = 10^{-\text{pH}_2}.$$

При разбавлении раствора кислоты pH возрастает, поэтому

$$0.664 = \text{pH}_2 - \text{pH}_1$$

и 
$$x_1 / x_2 = 10^{\text{pH}_2 - \text{pH}_1} = 10^{0.664} = 4.613,$$

отсюда получаем соотношение  $x_1 = 4.613x_2$ .

Запишем выражения для константы диссоциации HA для двух растворов и приравняем правые части выражений:

$$\begin{aligned} K &= \frac{x_1^2}{0.05 - x_1}, \\ K &= \frac{x_2^2}{0.0025 - x_2}, \\ \frac{x_1^2}{0.05 - x_1} &= \frac{x_2^2}{0.0025 - x_2}, \\ \frac{x_1^2}{x_2^2} &= \frac{0.05 - x_1}{0.0025 - x_2}. \end{aligned}$$

Подставим полученное ранее соотношение и найдем концентрацию ионов водорода во втором растворе:

$$\begin{aligned} 4.613^2 &= (0.05 - 4.613x_2) / (0.0025 - x_2), \\ x_2 &= 1.98 \cdot 10^{-4} \text{ (моль/л)}. \end{aligned}$$

Рассчитаем значение константы диссоциации, воспользовавшись формулой, записанной для второго раствора:

$$K = (1.98 \cdot 10^{-4})^2 / (0.0025 - 1.98 \cdot 10^{-4}) = 1.7 \cdot 10^{-5}.$$

Ответ:  $1.7 \cdot 10^{-5}$ .

### 6.4. Одноосновная кислота диссоциирует обратимо



Константа диссоциации кислоты равна

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]}$$

где  $c$  – концентрация раствора кислоты,  $[\text{H}^+]$  – равновесная концентрация ионов  $\text{H}^+$  в растворе.

Концентрация ионов  $\text{H}^+$  связана со значением pH раствора следующим соотношением:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Обозначим концентрацию ионов водорода в первом растворе как  $x_1$ , во втором –  $x_2$ . Тогда

$$x_1 = 10^{-\text{pH}_1},$$

$$x_2 = 10^{-\text{pH}_2}.$$

При разбавлении раствора кислоты pH возрастает, поэтому

$$0.598 = \text{pH}_2 - \text{pH}_1$$

и 
$$x_1 / x_2 = 10^{\text{pH}_2 - \text{pH}_1} = 10^{0.598} = 5.998,$$

отсюда получаем соотношение  $x_1 = 5.998x_2$ .

Запишем выражения для константы диссоциации HA для двух растворов и приравняем правые части выражений:

$$K = \frac{x_1^2}{0.06 - x_1},$$

$$K = \frac{x_2^2}{0.0024 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{0.06 - x_1} = \frac{x_2^2}{0.0024 - x_2},$$

$$\frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{0.06 - x_1}{0.0024 - x_2}.$$

Подставим полученное ранее соотношение и найдем концентрацию ионов водорода во втором растворе:

$$5.998^2 = (0.06 - 5.998x_2) / (0.0024 - x_2),$$

$$x_2 = 8.804 \cdot 10^{-4} \text{ (моль/л)}.$$

Рассчитаем значение константы диссоциации, воспользовавшись формулой, записанной для второго раствора:

$$K = (8.804 \cdot 10^{-4})^2 / (0.0024 - 8.804 \cdot 10^{-4}) = 5.1 \cdot 10^{-4}.$$

*Ответ:*  $5.1 \cdot 10^{-4}$ .

## Задача 7 (15 баллов)

### 7.1.

- 1)  $10\text{FeSO}_4 + 2\text{KIO}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2\downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$
- 2)  $3\text{I}_2 + 6\text{KOH(p-p)} \rightarrow \text{KIO}_3 + 5\text{KI} + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{I}_2 + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{бензол}} 2\text{ICl}_3$
- 4)  $3\text{ICl}_3 + 12\text{KOH(p-p)} \rightarrow 2\text{KIO}_3 + \text{KI} + 9\text{KCl} + 6\text{H}_2\text{O}$
- 5)  $5\text{KIO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{KIO}_3 + 2\text{HMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$

*Ответ:* **A** –  $\text{KIO}_3$ , **B** –  $\text{ICl}_3$ .

### 7.2.

- 1)  $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{камфара}} \text{SO}_2\text{Cl}_2$
- 2)  $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$
- 3)  $\text{SO}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$
- 4)  $\text{SO}_2 + \text{HNO}_3(100\%) \rightarrow \text{NOHSO}_4$
- 5)  $2\text{NOHSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{NO}_2$

*Ответ:* **A** –  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ , **B** –  $\text{NOHSO}_4$ .

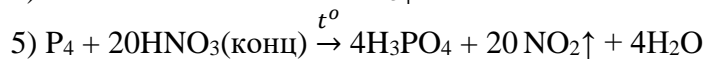
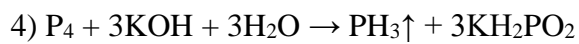
### 7.3.

- 1)  $\text{NaNO}_2 + 5\text{NaOH} + 3\text{Zn} + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{NH}_3\uparrow$
- 2)  $3\text{NaNO}_2 + \text{POCl}_3 \xrightarrow{t^\circ} 3\text{NOCl} + \text{Na}_3\text{PO}_4$
- или  $2\text{NaNO}_2 + \text{POCl}_3 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{NOCl} + \text{NaPO}_3 + \text{NaCl}$
- 3)  $2\text{NaNO}_2 + 2\text{NaI} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO}\uparrow + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow{Pt, t^\circ} 4\text{NO}\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{C_{\text{акт.}}} 2\text{NOCl}$

*Ответ:* **A** –  $\text{NH}_3$ , **B** –  $\text{NOCl}$ .

### 7.4.

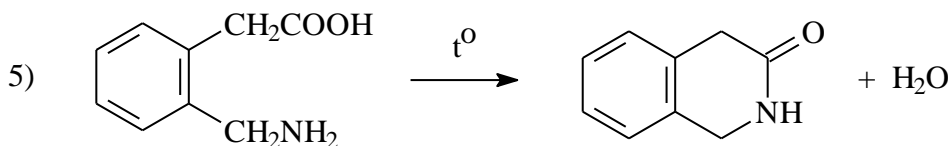
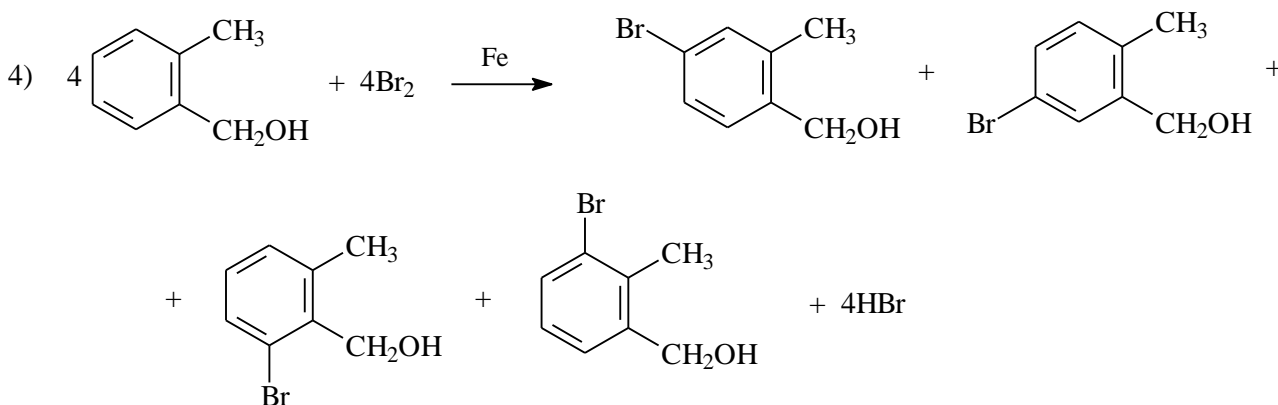
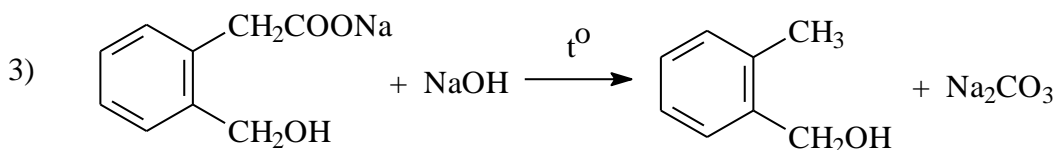
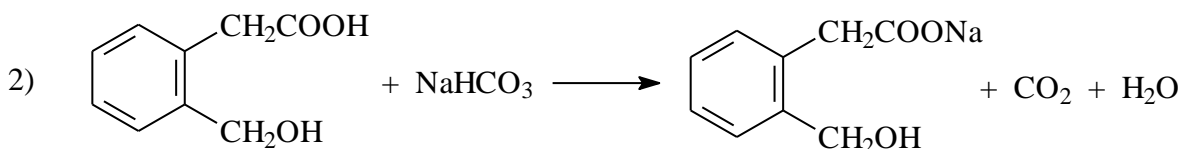
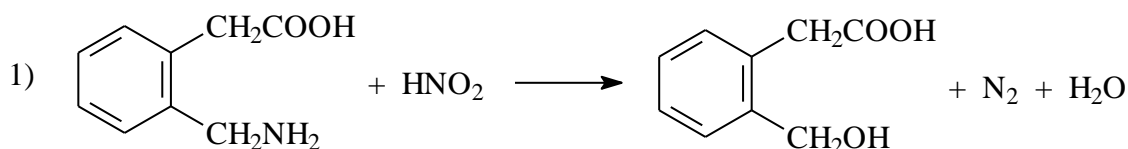
- 1)  $\text{PH}_{3(\text{r})} + \text{HI}_{(\text{r})} \rightarrow \text{PH}_4\text{I}$
- 2)  $\text{PH}_4\text{I} + \text{NaOH(p-p)} \rightarrow \text{PH}_3 + \text{NaI} + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $5\text{PH}_3 + 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 8\text{MnSO}_4 + 5\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$



Ответ: А –  $PH_4I$ , В –  $H_3PO_4$ .

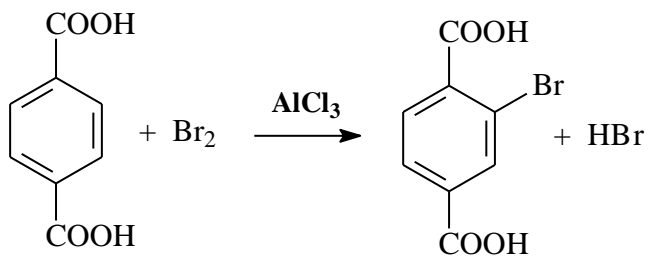
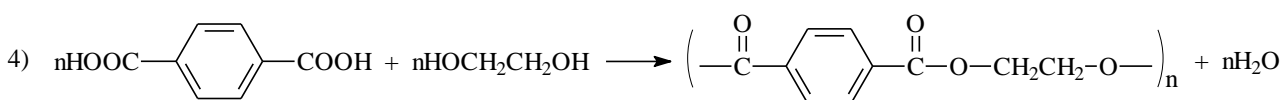
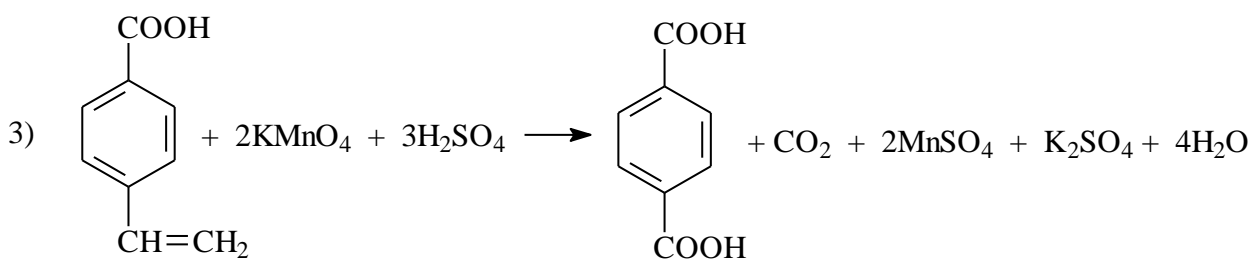
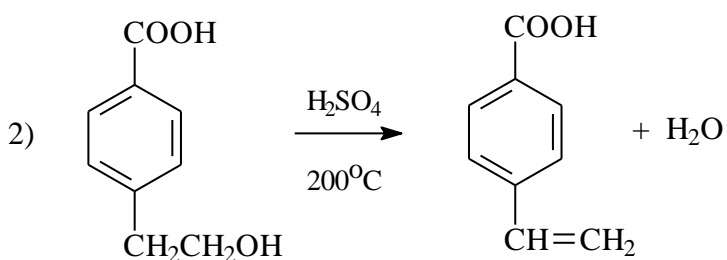
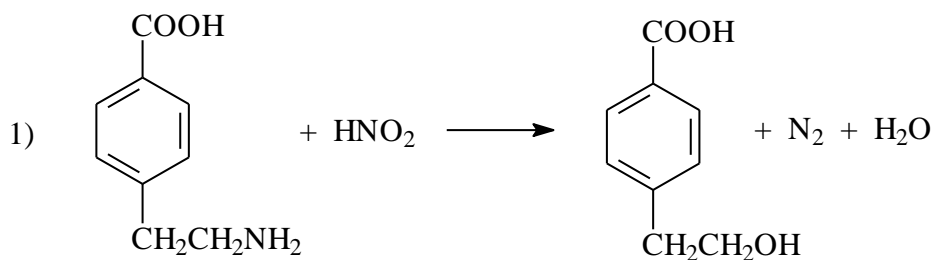
### Задача 8 (15 баллов)

#### 8.1.

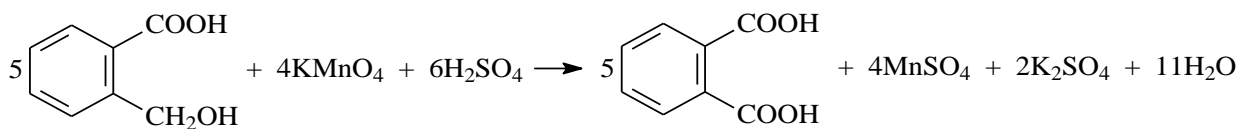
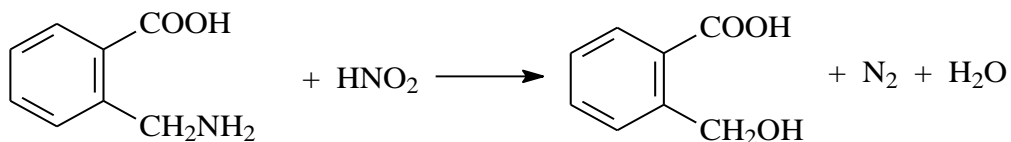


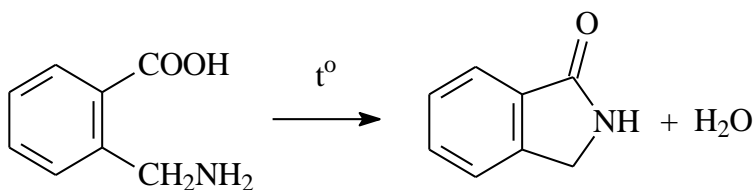
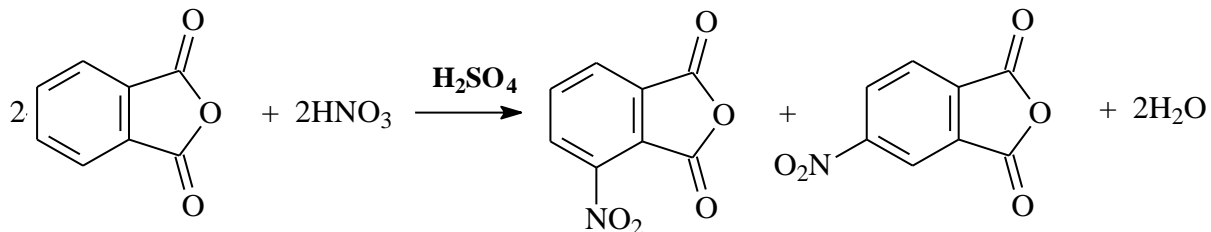
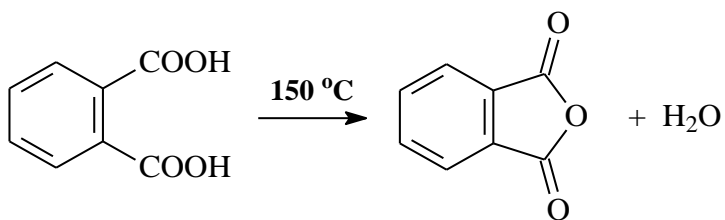


8.2.



8.3.





#### 8.4.

