



МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

*олимпиады школьников
«ЛОМОНОСОВ»
по химии*

2015/2016 учебный год

**Заочный (отборочный)
этап**

10-11 классы

II тур

Задание №1

1.1. Какие из перечисленных молекул являются полярными, какие – неполярными: C_2H_2 , HBr , BCl_3 , CH_3NH_2 ? Ответ поясните. (4 балла)

Решение.

C_2H_2 - неполярная молекула. В молекуле ацетилена связь $C\equiv C$ неполярна, дипольные моменты малополярных связей $C-H$ компенсируют друг друга, т.к. атомы углерода находятся в гибридизации sp .

HBr - полярная молекула. Связь образована атомами элементов с различной электроотрицательностью.

BCl_3 - неполярная молекула. Атом бора находится в гибридизации sp^2 , дипольные моменты полярных связей $B-Cl$ компенсируют друг друга.

CH_3NH_2 - полярная молекула. Полярность молекулы метиламина обусловлена дипольным моментом связи $C-N$.

1.2. Какие из перечисленных молекул являются полярными, какие – неполярными: C_2H_4 , H_2O , BF_3 , $(CH_3)_2NH$? Ответ поясните. (4 балла)

Решение.

C_2H_4 - неполярная молекула. В молекуле этилена связь $C=C$ неполярна, дипольные моменты малополярных связей $C-H$ компенсируют друг друга, т.к. атомы углерода находятся в гибридизации sp^2 .

H_2O - полярная молекула. Полярность молекулы воды обусловлена дипольным моментом связей $O-H$, которые расположены под углом, близким к 109° , т.к. атом кислорода находится в гибридизации sp^3 .

BF_3 - неполярная молекула. Атом бора находится в гибридизации sp^2 , дипольные моменты полярных связей $B-F$ компенсируют друг друга.

$(CH_3)_2NH$ - полярная молекула. Полярность молекулы диметиламина обусловлена дипольным моментом связей $C-N$, которые расположены под углом, близким к 109° , т.к. атом азота находится в гибридизации sp^3 .

1.3. Какие из перечисленных молекул являются полярными, какие – неполярными: C_2H_6 , PH_3 , BBr_3 , CH_3COCH_3 ? Ответ поясните. (4 балла)

Решение.

C_2H_6 - неполярная молекула. Дипольные моменты метильных групп компенсируют друг друга.

PH_3 - полярная молекула. Полярность молекулы фосфина обусловлена дипольным моментом связей $P-H$, которые расположены под углом, близким к 109° , т.к. атом фосфора находится в гибридизации sp^3 .

BBr_3 - неполярная молекула. Атом бора находится в гибридизации sp^2 , дипольные моменты полярных связей $B-Br$ компенсируют друг друга.

CH_3COCH_3 - полярная молекула. Полярность молекулы обусловлена дипольным моментом связи $C=O$. Атом углерода в молекуле ацетона находится в гибридизации sp^2 .

1.4. Какие из перечисленных молекул являются полярными, какие – неполярными: CS_2 , PBr_3 , CCl_4 , CH_2O ? Ответ поясните. (4 балла)

Решение.

CS_2 - неполярная молекула. В молекуле сероуглерода дипольные моменты полярных связей $C=S$ компенсируют друг друга, т.к. атом углерода находится в гибридизации sp .

PBr_3 - полярная молекула. Полярность молекулы обусловлена дипольным моментом связей $\text{P}-\text{Br}$, которые расположены под углом, близким к 109° , т.к. атом фосфора находится в гибридизации sp^3 .

CCl_4 - неполярная молекула. Атом углерода находится в гибридизации sp^3 , дипольные моменты полярных связей $\text{C}-\text{Cl}$ компенсируют друг друга.

CH_2O - полярная молекула. Полярность молекулы обусловлена дипольным моментом связи $\text{C}=\text{O}$. Атом углерода в молекуле формальдегида находится в гибридизации sp^2 .

Задание №2

2.1. Сумма числа протонов, нейтронов и электронов в атоме равна 134, причем число нейтронов превышает число электронов на 11. Определите порядковый номер и массовое число элемента, назовите его. **(5 баллов)**

Решение. Пусть число протонов в атоме составляет x . Тогда число электронов также равно x (атом электронейтрален). Кроме того, по условию, число нейтронов равно $x + 11$.

В результате

$$\begin{aligned}x + x + x + 11 &= 134, \\3x &= 123, \\x &= 41.\end{aligned}$$

Таким образом, это – атом элемента ниобия ${}_{41}^{93}\text{Nb}$.

Ответ: ниобий ${}_{41}^{93}\text{Nb}$.

2.2. Сумма числа протонов, нейтронов и электронов в атоме равна 128, причем число нейтронов превышает число электронов на 11. Определите порядковый номер и массовое число элемента, назовите его. **(5 баллов)**

Решение. Пусть число протонов в атоме составляет x . Тогда число электронов также равно x (атом электронейтрален). Кроме того, по условию, число нейтронов равно $x + 11$.

В результате

$$\begin{aligned}x + x + x + 11 &= 128, \\3x &= 117, \\x &= 39.\end{aligned}$$

Таким образом, это – атом элемента иттрия ${}_{39}^{89}\text{Y}$.

Ответ: иттрий ${}_{39}^{89}\text{Y}$.

2.3. Сумма числа протонов, нейтронов и электронов в атоме равна 145, причем число нейтронов превышает число электронов на 13. Определите порядковый номер и массовое число элемента, назовите его. **(5 баллов)**

Решение. Пусть число протонов в атоме составляет x . Тогда число электронов также равно x (атом электронейтрален). Кроме того, по условию, число нейтронов равно $x + 13$.

В результате

$$\begin{aligned}x + x + x + 13 &= 145, \\3x &= 132, \\x &= 44.\end{aligned}$$

Таким образом, это – атом элемента рутения ${}_{44}^{101}\text{Ru}$.

Ответ: рутений ${}_{44}^{101}\text{Ru}$.

2.4. Сумма числа протонов, нейтронов и электронов в атоме равна 120, причем число нейтронов превышает число электронов на 12. Определите порядковый номер и массовое число элемента, назовите его. **(5 баллов)**

Решение. Пусть число протонов в атоме составляет x . Тогда число электронов также равно x (атом электронейтрален). Кроме того, по условию, число нейтронов равно $x + 12$.

В результате

$$\begin{aligned}x + x + x + 12 &= 120, \\3x &= 108, \\x &= 36.\end{aligned}$$

Таким образом, это – атом элемента криптона ${}_{36}^{84}\text{Kr}$.

Ответ: криптон ${}_{36}^{84}\text{Kr}$.

Задание №3

3.1. Для приготовления раствора смешали 500 мл воды, 10 г гидроксида натрия, 5 г сульфата натрия и 6 г гидросульфата натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе. **(6 баллов)**

Решение.

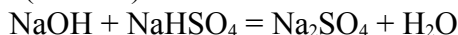
$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 500 \cdot 1 = 500 \text{ г}$$

Исходные количества веществ:

$$v(\text{NaOH}) = m/M = 10/40 = 0.25 \text{ моль}$$

$$v(\text{NaHSO}_4) = m/M = 6/120 = 0.05 \text{ моль}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m/M = 5/142 = 0.035 \text{ моль}$$



$$\text{После реакции: } v(\text{NaOH}) = 0.25 - 0.05 = 0.2 \text{ моль}$$

$$v(\text{NaHSO}_4) = 0 \text{ моль}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.035 + 0.05 = 0.085 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = 0.2 \cdot 40 = 8 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.085 \cdot 142 = 12.07 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 500 + 10 + 5 + 6 = 521 \text{ г}$$

$$w(\text{NaOH}) = 8/521 = 0.015 \text{ или } 1.5\%$$

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 12.07/521 = 0.023 \text{ или } 2.3\%$$

Ответ: 1.5% NaOH, 2.3% Na₂SO₄.

3.2. Для приготовления раствора смешали 200 мл воды, 3 г ортофосфата натрия, 5 г гидроортофосфата натрия и 7 г дигидроортофосфата натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе. **(6 баллов)**

Решение.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 200 \cdot 1 = 200 \text{ г}$$

Исходные количества веществ:

$$v(\text{Na}_3\text{PO}_4) = m/M = 3/164 = 0.018 \text{ моль}$$

$$v(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = m/M = 5/142 = 0.035 \text{ моль}$$

$$v(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = m/M = 7/120 = 0.058 \text{ моль}$$



$$\text{После реакции: } v(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0 \text{ моль}$$

$$v(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.058 - 0.018 = 0.04 \text{ моль}$$

$$v(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.035 + 0.018 \cdot 2 = 0.071 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.04 \cdot 120 = 4.8 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.071 \cdot 142 = 10.08 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + 3 + 5 + 7 = 215 \text{ г}$$

$$w(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 4.8/215 = 0.022 \text{ или } 2.2\%$$

$$w(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 10.08/215 = 0.047 \text{ или } 4.7\%$$

Ответ: 2.2% NaH₂PO₄, 4.7% Na₂HPO₄.

3.3. Для приготовления раствора смешали 400 мл воды, 50 г сульфита калия, 100 г гидросульфита калия и 50 г гидроксида калия. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе. **(6 баллов)**

Решение.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 400 \cdot 1 = 400 \text{ г}$$

Исходные количества веществ:

$v(\text{KOH}) = m/M = 50/56 = 0.89$ моль
 $v(\text{KHSO}_3) = m/M = 100/120 = 0.83$ моль
 $v(\text{K}_2\text{SO}_3) = m/M = 50/158 = 0.32$ моль
 $\text{KOH} + \text{KHSO}_3 = \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
После реакции: $v(\text{KOH}) = 0.89 - 0.83 = 0.06$ моль
 $v(\text{KHSO}_3) = 0$ моль
 $v(\text{K}_2\text{SO}_3) = 0.32 + 0.83 = 1.15$ моль
 $m(\text{NaOH}) = 0.2 \cdot 40 = 8$ г
 $m(\text{KOH}) = 0.06 \cdot 56 = 3.36$ г
 $m(\text{K}_2\text{SO}_3) = 1.15 \cdot 158 = 181.7$ г
 $m(\text{p-ра}) = 400 + 50 + 100 + 50 = 600$ г
 $w(\text{KOH}) = 3.36/600 = 0.0056$ или 0.56%
 $w(\text{K}_2\text{SO}_3) = 181.7/600 = 0.3028$ или 30.28%
Ответ: 0.56 % KOH, 30.28% K₂SO₃.

3.4. Для приготовления раствора смешали 700 мл воды, 12 г карбоната натрия, 15 г гидрокарбоната натрия и 10 г гидроксида натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе. **(6 баллов)**

Решение.

$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 700 \cdot 1 = 700$ г
Исходные количества веществ:
 $v(\text{NaOH}) = m/M = 10/40 = 0.25$ моль
 $v(\text{NaHCO}_3) = m/M = 15/84 = 0.18$ моль
 $v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m/M = 12/106 = 0.11$ моль
 $\text{NaOH} + \text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
После реакции: $v(\text{NaOH}) = 0.25 - 0.18 = 0.07$ моль
 $v(\text{NaHCO}_3) = 0$ моль
 $v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.11 + 0.18 = 0.29$ моль
 $m(\text{NaOH}) = 0.07 \cdot 40 = 2.8$ г
 $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.29 \cdot 106 = 30.74$ г
 $m(\text{p-ра}) = 700 + 12 + 15 + 10 = 737$ г
 $w(\text{NaOH}) = 2.8/737 = 0.0038$ или 0.38%
 $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 30.74/737 = 0.042$ или 4.2%
Ответ: 0.38% NaOH и 4.2% Na₂CO₃.

Задание №4

4.1. После пропускания смеси двух газов с плотностью по метану 1.875 в нейтральный водный раствор перманганата калия его объем уменьшился в два раза, а относительная плотность газа не изменилась. Определите состав газовой смеси и рассчитайте массу осадка, образующегося при пропускании 44.8 л (н.у.) исходной газовой смеси. Предложите возможный качественный и количественный состав исходной газовой смеси. (6 баллов)

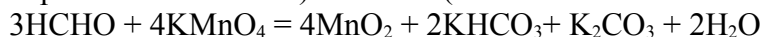
Решение

$$D_{\text{по CH}_4} = 1.875$$

$$M_{\text{ГАЗА}} = D \cdot M(\text{CH}_4) = 1.875 \cdot 16 = 30 \text{ г/моль}$$

Т.к. после пропускания газа через раствор перманганата калия изменяется его объем и образуется в растворе осадок, то это указывает на то, что идет реакция газа с перманганатом калия. Т.е. один из компонентов газовой смеси проявляет восстановительные свойства, а другой – нет. То, что молярная масса газа не меняется указывает на тот факт, что молярные массы компонентов газовой смеси одинаковые.

С молярной массой таким условиям могут соответствовать газы C_2H_6 (не реагирует с перманганатом калия) и НСНО (является восстановителем).



После пропускания в раствор газовой смеси объем уменьшается в два раза. Это означает, что объем C_2H_6 такой же, как и объем НСНО . Объемные и мольные доли газов в исходной смеси равны 50%.

Если изначально было $44.8/22.4 = 2$ моль газовой смеси, значит каждого газа было по 1 моль.

При взаимодействии 1 моль формальдегида образуется $4 \cdot 1/3 = 1.33$ моль оксида марганца(IV), $m(\text{MnO}_2) = 1.33 \cdot 87 = 116 \text{ г}$.

Ответ: 50% C_2H_6 , 50% НСНО , $m(\text{MnO}_2) = 116 \text{ г}$.

4.2. Пропускание смеси двух газов в раствор манганата (VI) калия приводит к образованию 10 г осадка, при этом объем прошедшего через раствор газа в 3 раза меньше начального, а относительная плотность газа по водороду не меняется и остается равной 22. Определите объем исходной газовой смеси (н.у.) и предположите возможный исходный качественный и количественный состав газовой смеси. (6 баллов)

Решение

$$D_{\text{по H}_2} = 22$$

$$M_{\text{ГАЗА}} = D \cdot M(\text{H}_2) = 22 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

Т.к. после пропускания газа через раствор манганата(VI) калия изменяется его объем и образуется в растворе осадок, то это указывает на то, что идет реакция газа с манганатом(VI) калия. Возможна реакция газа-восстановителя или газа, создающего кислую среду в растворе, что приводит к диспропорционированию манганата (VI). То, что не меняется относительная плотность газа указывает на то, что молярные массы газов-компонентов смеси одинаковые. С молярной массой 44 г/моль можно привести примеры CO_2 , C_3H_8 . Первый из газов приводит к диспропорционированию манганата(VI) калия, а второй не реагирует с водным раствором манганата(VI) калия.



После пропускания в раствор газовой смеси объем уменьшается в три раза. Это означает, что исходный объем в три раза больше объема C_3H_8 . Значит, объем пропана в два раза меньше объема диоксида углерода. Объемные и мольные доли C_3H_8 и CO_2 в исходной смеси равны, соответственно, 33.3 и 66.7%.

Т.к. по условию известно, что образовалось 10 г осадка, значит количество оксида марганца было $10 \cdot 1/87 = 0.115$ моль, количество диоксида углерода $2 \cdot 0.115 = 0.23$ моль

Количество пропана в два раза меньше количества диоксида углерода 0.115 моль

Общее количество газов $0.115 + 0.23 = 0.345$ моль

Объем газа при н.у. $0.345 \cdot 22.4 = 7.73$ л.

Ответ: 33.3% C_3H_8 , 66.7% CO_2 , 7.73 л.

4.3. Смесь двух газов с относительной плотностью по кислороду 0.875 может прореагировать с водным раствором перманганата калия с образованием 16 г осадка. Объем газа, прошедшего через раствор в 4 раза меньше исходного объема газовой смеси, относительная же плотность газа не меняется. Определите объем (н.у.) исходной газовой смеси и ее возможный качественный и количественный состав. **(6 баллов)**

Решение

$$D_{\text{по } O_2} = 0.875$$

$$M_{\text{ГАЗА}} = D \cdot M(O_2) = 0.875 \cdot 32 = 28 \text{ г/моль}$$

Т.к. после пропускания газа через раствор перманганата калия изменяется его объем и образуется в растворе осадок, то это указывает на то, что идет реакция газа с перманганатом калия. Т.е. один из компонентов газовой смеси проявляет восстановительные свойства, а другой – нет. То, что молярная масса газа не меняется указывает на тот факт, что молярные массы компонентов газовой смеси одинаковые.

С молярной массой таким условиям могут соответствовать газы C_2H_4 (реагирует с перманганатом калия) и N_2 (не является восстановителем).



После пропускания в раствор газовой смеси объем уменьшается в четыре раза. Это означает, что объем C_2H_4 в три раза больше объема N_2 . Объемные и молярные доли C_2H_4 и N_2 в исходной смеси равны, соответственно, 75 и 25%.

Т.к. образовалось 16 г осадка, значит количество оксида марганца 0.184 моль, количество прореагировавшего этилена $0.184 \cdot 3/2 = 0.276$ моль. Количество азота в 3 раза меньше и равно 0.092 моль. Суммарное количество газа $0.276 + 0.092 = 0.368$ моль. Объем газовой смеси при н.у. $22.4 \cdot 0.368 = 8.24$ л.

Ответ: 75% C_2H_4 , и 25% N_2 , 8.24 л.

4.4. Пропускание 56 л (н.у.) смеси двух газов с относительной плотностью по гелию 10 через водный раствор перманганата калия приводит к уменьшению объема газа в 3 раза. Плотность газа при этом не изменяется. Предложите возможный качественный и количественный состав исходной газовой смеси и рассчитайте массу перманганата калия, который прореагировал с исходной газовой смесью. **(6 баллов)**

Решение

$$D_{\text{по He}} = 10$$

$$M_{\text{ГАЗА}} = D \cdot M(He) = 10 \cdot 4 = 40 \text{ г/моль}$$

Т.к. после пропускания газа через раствор перманганата калия изменяется его объем и образуется в растворе осадок, то это указывает на то, что идет реакция газа с перманганатом калия. Т.е. один из компонентов газовой смеси проявляет восстановительные свойства, а другой – нет. То, что молярная масса газа не меняется указывает на тот факт, что молярные массы компонентов газовой смеси одинаковые.

С молярной массой таким условиям могут соответствовать газы C_3H_4 (реагирует с перманганатом калия) и Ar (не является восстановителем).



После пропускания в раствор газовой смеси объем уменьшается в три раза. Это означает, что объем C_3H_4 в два раза больше объема Ar. Объемные и молярные доли газов C_3H_4 и Ar в исходной смеси равны, соответственно, 66.7 и 33.3%.

Если изначально было $56/22.4 = 2.5$ моль газовой смеси, значит пропина было 1.67 моль.

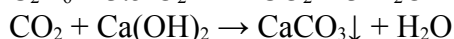
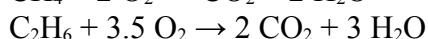
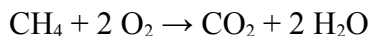
При взаимодействии 1.67 моль пропина расходуется $8 \cdot 1.67/3 = 4.45$ моль перманганата калия, $m(KMnO_4) = 4.45 \cdot 158 = 703$ г.

Ответ: 66.7% C_3H_4 , 33.3% Ar, $m(KMnO_4)$ 703 г.

Задание №5

5.1. Определите теплоту, выделившуюся при сжигании 7.33 л (1 атм, 25°C) смеси метана и этана, если продукты сгорания смеси были пропущены через известковую воду, и при этом выпало 50 г белого осадка. Теплоты образования метана, этана, углекислого газа и воды составляют 74.85 кДж/моль, 84.67 кДж/моль, 393.50 кДж/моль, 241.83 кДж/моль соответственно. **(8 баллов)**

Решение.



Пусть x количество моль метана, y – количество моль этана, тогда

$$v = (x + y) = \frac{PV}{RT} = \frac{7.33}{0.082 \cdot 298} = 0.3 \text{ моль},$$

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{50}{100} = 0.5 \text{ моль} = v(\text{CO}_2) = x + 2y$$

Отсюда $x = 0.1$ моль, $y = 0.2$ моль.

Теплота сгорания метана:

$$Q_{\text{с.мет.}} = Q_{\text{CO}_2} + 2 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{CH}_4} = 2 \cdot 241.83 + 393.50 - 74.85 = 802.31 \text{ кДж/моль}$$

Теплота сгорания этана:

$$Q_{\text{с.эт.}} = 2 Q_{\text{CO}_2} + 3 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_6} = 3 \cdot 241.83 + 2 \cdot 393.5 - 84.67 = 1427.82 \text{ кДж/моль}$$

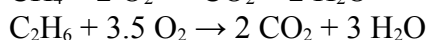
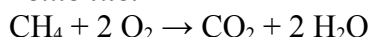
Теплота, выделившаяся при сгорании смеси:

$$Q = 0.1 Q_{\text{с.мет.}} + 0.2 Q_{\text{с.эт.}} = 0.1 \cdot 802.31 + 0.2 \cdot 1427.82 = 365.80 \text{ кДж}$$

Ответ: 365.8 кДж.

5.2. При сжигании смеси метана и этана выделилось 446.03 кДж/моль. Продукты сгорания смеси были пропущены через хлоркальциевую трубку, при этом ее масса увеличилась на 18 г. Определите количественный состав и объем газовой смеси, измеренный при 1 атм и 25°C, если теплоты образования метана, этана, углекислого газа и воды составляют 74.85 кДж/моль, 84.67 кДж/моль, 393.5 кДж/моль, 241.83 кДж/моль соответственно. **(8 баллов)**

Решение.



Пусть x количество моль метана, y – количество моль этана, тогда теплота сгорания метана:

$$Q_{\text{с.мет.}} = Q_{\text{CO}_2} + 2 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{CH}_4} = 2 \cdot 241.83 + 393.50 - 74.85 = 802.31 \text{ кДж/моль}$$

Теплота сгорания этана:

$$Q_{\text{с.эт.}} = 2 Q_{\text{CO}_2} + 3 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_6} = 3 \cdot 241.83 + 2 \cdot 393.5 - 84.67 = 1427.82 \text{ кДж/моль}$$

Теплота, выделившаяся при сгорании смеси:

$$Q = x Q_{\text{с.мет.}} + y Q_{\text{с.эт.}} = x \cdot 802.31 + y \cdot 1427.82 = 446.03 \text{ кДж}$$

Масса хлоркальциевой трубки увеличилась за счет сорбции воды.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = (2x + 3y) = \frac{18}{18} = 1 \text{ моль}$$

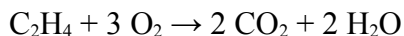
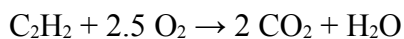
Отсюда $x = 0.2$ моль, $y = 0.2$ моль.

$$V = \frac{vRT}{p} = \frac{0.4 \cdot 0.082 \cdot 298}{1} = 9.77 \text{ л}$$

Ответ: 9.77 л, 0.2 моль метана и 0.2 моль этана.

5.3. Определите теплоту, выделившуюся при сжигании 12.22 л (1 атм, 25°C) смеси ацетилена и этилена, если продукты сгорания смеси были пропущены через хлоркальциевую трубку, при этом ее масса увеличилась на 12.6 г. Теплоты образования ацетилена, этилена, углекислого газа и воды составляют -226.75 кДж/моль, -52.30 кДж/моль, 393.50 кДж/моль, 241.83 кДж/моль соответственно. **(8 баллов)**

Решение.



Пусть x количество моль ацетилена, y – количество моль этилена, тогда

$$v = (x + y) = \frac{PV}{RT} = \frac{12.22}{0.082 \cdot 298} = 0.5 \text{ моль},$$

Масса хлоркальциевой трубки увеличилась за счет сорбции воды.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = (x + 2y) = \frac{12.6}{18} = 0.7 \text{ моль}$$

Отсюда $x = 0.3$ моль, $y = 0.2$ моль.

Теплота сгорания ацетилена:

$$Q_{\text{с.ацет.}} = 2Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_2} = 2 \cdot 393.50 + 241.83 + 226.75 = 1255.58 \text{ кДж/моль}$$

Теплота сгорания этана:

$$Q_{\text{с.этил.}} = 2 Q_{\text{CO}_2} + 2 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_4} = 2 \cdot 393.50 + 2 \cdot 241.83 + 52.30 = 1322.96 \text{ кДж/моль}$$

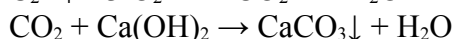
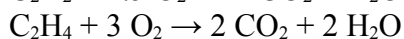
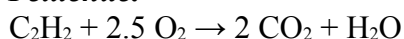
Теплота, выделившаяся при сгорании смеси:

$$Q = 0.3 Q_{\text{с.ацет.}} + 0.2 Q_{\text{с.этил.}} = 0.3 \cdot 1255.58 + 0.2 \cdot 1322.96 = 641.27 \text{ кДж}$$

Ответ: 641.27 кДж.

5.4. При сжигании смеси ацетилена и этилена выделилось 522.45 кДж/моль. Продукты сгорания смеси были пропущены через известковую воду, и при этом выпало 80 г белого осадка. Определите количественный состав и объем газовой смеси, измеренный при 1 атм и 25°C, если теплоты образования ацетилена, этилена, углекислого газа и воды составляют -226.75 кДж/моль, -52.30 кДж/моль, 393.50 кДж/моль, 241.83 кДж/моль соответственно. **(8 баллов)**

Решение.



Пусть x количество моль ацетилена, y – количество моль этилена, тогда теплота сгорания ацетилена:

$$Q_{\text{с.ацет.}} = 2Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_2} = 2 \cdot 393.50 + 241.83 + 226.75 = 1255.58 \text{ кДж/моль}$$

Теплота сгорания этана:

$$Q_{\text{с.этил.}} = 2 Q_{\text{CO}_2} + 2 Q_{\text{H}_2\text{O}} - Q_{\text{C}_2\text{H}_4} = 2 \cdot 393.50 + 2 \cdot 241.83 + 52.30 = 1322.96 \text{ кДж/моль}$$

Теплота, выделившаяся при сгорании смеси:

$$Q = x Q_{\text{с.ацет.}} + y Q_{\text{с.этил.}} = x \cdot 1255.58 + y \cdot 1322.96 = 522.45 \text{ кДж}$$

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{80}{100} = 0.8 \text{ моль} = v(\text{CO}_2) = 2x + 2y$$

Отсюда $x = 0.1$ моль, $y = 0.3$ моль.

$$V = \frac{vRT}{p} = \frac{0.4 \cdot 0.082 \cdot 298}{1} = 9.77 \text{ л}$$

Ответ: 9.77 л, 0.1 моль ацетилена и 0.3 моль этилена.

Задание №6

6.1. Аммиак, взятый при комнатной температуре, нагрели до 800 °С, а образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению). Плотность смеси оказалась в 1.2 раза меньше начальной плотности аммиака. Определите степень разложения аммиака и состав полученной смеси в мольных долях. (12 баллов)

Решение.



В результате реакции общая масса не изменилась, а число молей увеличилось. Температура и давление после реакции – такие же, как и до реакции, поэтому можно применить закон Авогадро.

$$\left. \begin{array}{l} \rho_2 = \frac{\rho_1}{1.2} \\ m_2 = m_1 \end{array} \right\} \Rightarrow V_2 = 1.2V_1 \Rightarrow \nu_2 = 1.2\nu_1$$

Общее количество вещества выросло в 1.2 раза. Пусть до реакции был 1 моль аммиака, а x моль разложилось, тогда

$$\nu_{\text{ост}}(\text{NH}_3) = 1-x, \nu(\text{N}_2) = x/2, \nu(\text{H}_2) = 3x/2$$

$$\nu_2 = (1-x) + x/2 + 3x/2 = 1 + x = 1.2$$

$$x = 0.2. \text{ Степень разложения – 20\%.$$

Мольные доли газов в полученной смеси:

$$\chi(\text{NH}_3) = (1-0.2) / 1.2 = 2/3$$

$$\chi(\text{N}_2) = 0.1 / 1.2 = 1/12$$

$$\chi(\text{H}_2) = 0.3 / 1.2 = 1/4$$

Ответ: Степень разложения – 20%, конечная смесь: 2/3 NH₃, 1/12 N₂, 1/4 H₂.

6.2. Сероводород, взятый при комнатной температуре, сильно нагрели, а образовавшуюся смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению). Плотность газа оказалась в 3.4 раза меньше начальной плотности сероводорода. Определите степень разложения сероводорода и состав полученной газовой смеси в мольных долях. (12 баллов)

Решение.



В результате реакции число молей не изменилось, а масса уменьшилась после охлаждения за счет конденсации серы. Температура и давление после реакции – такие же, как и до реакции, поэтому можно применить закон Авогадро: $\nu_2 = \nu_1 \Rightarrow V_2 = V_1$.

$$\left. \begin{array}{l} \rho_2 = \frac{\rho_1}{3.4} \\ V_2 = V_1 \end{array} \right\} \Rightarrow m_2 = \frac{m_1}{3.4}$$

Пусть до реакции был 1 моль сероводорода массой $m_1 = 34$ г, тогда после реакции $m_2 = 10$ г, $\Delta m = 34 - 10 = 24$ г – это масса осажденной серы.

$\nu(\text{S}) = 24/32 = 0.75$, следовательно разложилось 0.75 моль H₂S, а в конечной газовой содержится 0.75 моль H₂ (75%) и 0.25 моль H₂S (25%).

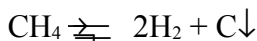
Ответ: Степень разложения – 75%, конечная смесь: 75% H₂, 25% H₂S.

6.3. Метан, взятый при комнатной температуре, сильно нагрели, а образовавшуюся смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению). В газовой фазе было обнаружено всего два вещества, а ее плотность оказалась в 4 раза меньше начальной

плотности метана. Определите степень разложения метана и состав полученной газовой смеси в мольных долях. (12 баллов)

Решение.

В конечной смеси находилось только два газа, один из которых – метан. Следовательно, при разложении метана образовался единственный газообразный продукт – водород.



Пусть до реакции был 1 моль метана, а x моль разложилось, тогда в полученной газовой смеси содержится $(1-x)$ моль CH_4 и $2x$ моль H_2 . Плотность при постоянных температуре и давлении уменьшилась в 4 раза, следовательно молярная масса смеси в 4 раза меньше молярной массы метана:

$$M_{\text{см}} = \frac{16 \times (1-x) + 2 \times 2x}{1-x+2x} = 4 \text{ г/моль}$$

$x = 0.75$, следовательно разложилось 0.75 моль CH_4 , а в конечной газовой смеси содержится 1.5 моль H_2 (6/7) и 0.25 моль CH_4 (1/7).

Ответ: Степень разложения – 75%, конечная смесь: 6/7 H_2 , 1/7 CH_4 .

6.4. Оксид азота (I), взятый при комнатной температуре, сильно нагрели, а образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению). Плотность смеси оказалась в 1.25 раза меньше начальной плотности оксида азота. Определите степень разложения N_2O и состав полученной смеси в мольных долях. (12 баллов)

Решение.



В результате реакции общая масса не изменилась, а число молей увеличилось.

Температура и давление после реакции – такие же, как и до реакции, поэтому можно применить закон Авогадро.

$$\left. \begin{array}{l} \rho_2 = \frac{\rho_1}{1.25} \\ m_2 = m_1 \end{array} \right\} \Rightarrow V_2 = 1.25V_1 \Rightarrow \nu_2 = 1.25\nu_1$$

Общее количество вещества выросло в 1.25 раза. Пусть до реакции был 1 моль N_2O , а x моль разложилось, тогда

$$\nu_{\text{ост}}(\text{N}_2\text{O}) = 1-x, \nu(\text{N}_2) = x, \nu(\text{O}_2) = x/2$$

$$\nu_2 = (1-x) + x + x/2 = 1 + x/2 = 1.25$$

$$x = 0.5. \text{ Степень разложения – 50\%.}$$

Мольные доли газов в полученной смеси:

$$\chi(\text{N}_2\text{O}) = (1-0.5) / 1.25 = 0.4$$

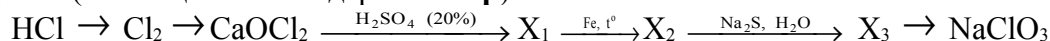
$$\chi(\text{N}_2) = 0.5 / 1.25 = 0.4$$

$$\chi(\text{O}_2) = 0.25 / 1.25 = 0.2$$

Ответ: Степень разложения – 50%, конечная смесь: 40% N_2O , 40% N_2 , 20% O_2 .

Задание №7

7.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат **хлор**).

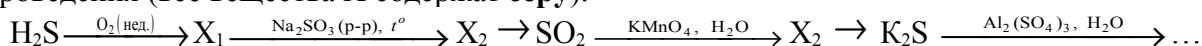


(12 баллов)

Решение. $\text{X}_1 = \text{Cl}_2$, $\text{X}_2 = \text{FeCl}_3$, $\text{X}_3 = \text{NaCl}$

1. $\text{MnO}_2 + 4 \text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
или $2 \text{KMnO}_4 + 16 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{MnCl}_2 + 5 \text{Cl}_2 + 2 \text{KCl} + 8 \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Cl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{охлаждение}} \text{CaOCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
3. $\text{CaOCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_{4\text{p-p}} \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
4. $3 \text{Cl}_2 + 2 \text{Fe} \xrightarrow{t^\circ} 2 \text{FeCl}_3$
5. $2 \text{FeCl}_3 + 3 \text{Na}_2\text{S} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}_2\text{S} + 6 \text{NaCl}$
6. $\text{NaCl} + 3 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл-лиз без диафр.}} \text{NaClO}_3 + 3 \text{H}_2$

7.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат **серу**).

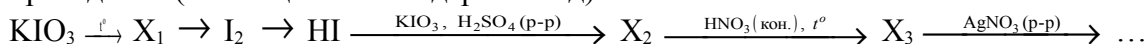


(12 баллов)

Решение. $\text{X}_1 = \text{S}$, $\text{X}_2 = \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $\text{X}_3 = \text{K}_2\text{SO}_4$

1. $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \text{ недост.} \rightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ p-p} \xrightarrow{\text{кипячение}} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
3. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2 \text{HCl} \text{ p-p} \rightarrow 2 \text{NaCl} + \text{SO}_2 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
4. $5 \text{SO}_2 + 2 \text{KMnO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$
5. $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{ тв.} + 4 \text{C} \xrightarrow{t^\circ} \text{K}_2\text{S} + 4 \text{CO}$
или $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{ тв.} + 4 \text{H}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{K}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O}$
или $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{BaS} \text{ p-p} \rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{K}_2\text{S}$
6. $3 \text{K}_2\text{S} + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{K}_2\text{SO}_4$

7.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат **иод**).

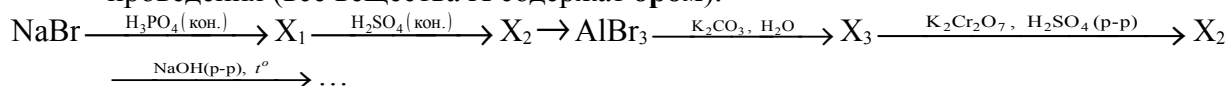


(12 баллов)

Решение.

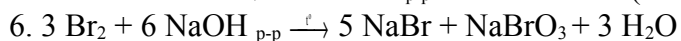
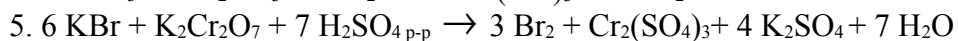
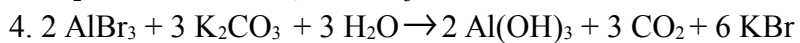
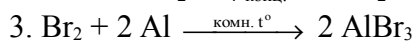
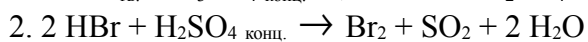
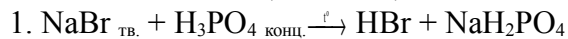
1. $2 \text{KIO}_3 \text{ тв.} \xrightarrow{t^\circ} 2 \text{KI} + 3 \text{O}_2$
 2. $2 \text{KI} + \text{Cl}_2 \text{ недост.} \rightarrow \text{I}_2 + 2 \text{KCl}$
или $2 \text{KI} + \text{MnO}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{I}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
или $8 \text{KI} + 9 \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ конц.} \rightarrow 4 \text{I}_2 + 8 \text{KHSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O}$
 3. $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{S} \text{ p-p} \rightarrow 2 \text{HI} + \text{S}$
или $\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4$
или $3 \text{I}_2 + 2 \text{P} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{HI} + 2 \text{H}_3\text{PO}_3$
 4. $5 \text{HI} + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ p-p} \rightarrow 3 \text{I}_2 + \text{KHSO}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$
 5. $\text{I}_2 + 10 \text{HNO}_3 \text{ конц.} \xrightarrow{t^\circ} 2 \text{HIO}_3 + 10 \text{NO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
 6. $\text{HIO}_3 + \text{AgNO}_3 (\text{p-p}) \rightarrow \text{AgIO}_3 \downarrow + \text{HNO}_3$
- $\text{X}_1 = \text{KI}$, $\text{X}_2 = \text{I}_2$, $\text{X}_3 = \text{HIO}_3$

7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат **бром**).



(12 баллов)

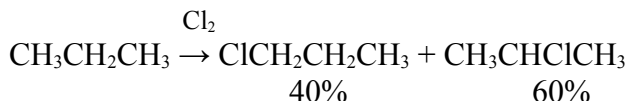
Решение. $\text{X}_1 = \text{HBr}$, $\text{X}_2 = \text{Br}_2$, $\text{X}_3 = \text{KBr}$



Задание №8

8.1. При хлорировании пропана на свету при 25°C получена смесь моноклорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь моноклорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Сколько (в %) и каких моноклорпроизводных может содержать смесь, полученная при хлорировании 2-метилбутана на свету при 25°C? Ответ подтвердите расчетом. (15 баллов)

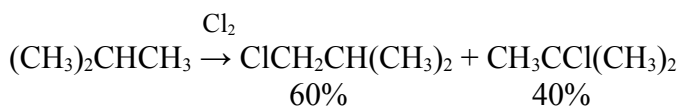
Решение.



Можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 40\%/6\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{втор}} = 60\%/2\text{H} = 30\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при вторичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{втор}}/V_{\text{перв}} = 30/6.67 = 4.5$

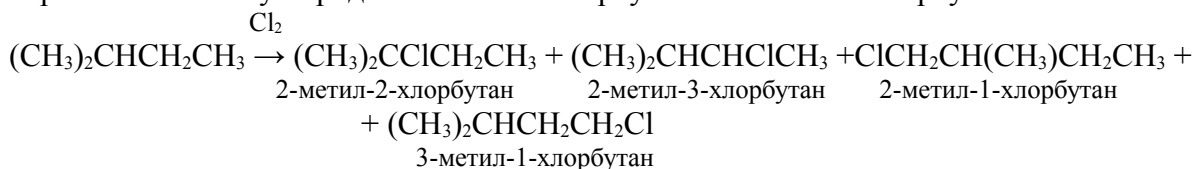


Аналогично можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и третичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 60\%/9\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{трет}} = 40\%/1\text{H} = 40\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при третичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{трет}}/V_{\text{перв}} = 40/6.67 = 6.0$

При хлорировании 2-метилбутана образуются четыре моноклорпроизводных: 2-метил-2-хлорбутан (продукт замещения у третичного атома углерода), 2-метил-3-хлорбутан (продукт замещения у вторичного атома углерода) и два продукта замещения у первичного атома углерода - 2-метил-1-хлорбутан и 3-метил-1-хлорбутан.



Молекула 2-метилбутана содержит один атом Н при третичном углероде, два атома Н при вторичном углероде и девять атомов Н при первичных атомах углерода. Примем за единицу скорость замещения у первичного атома углерода, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода равна 4.5, а скорость замещения у третичного атома углерода равна 6.

9 первичных атомов Н \times 1 = 9 (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов С. Две группы CH_3 , связанные с CH -группой и одна группа CH_3 , связанная с CH_2 -группой).

2 вторичных атома Н \times 4.5 = 9 (относительное количество продукта замещения у вторичного атома С).

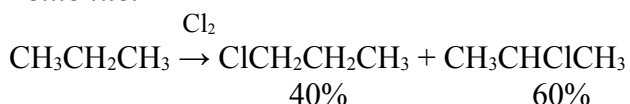
1 третичный атом Н \times 6 = 6 (относительное количество продукта замещения у третичного атома С).

Тогда, доля 2-метил-2-хлорбутана равна $6/24 = 0.25$ (25%), доля 2-метил-3-хлорбутана равна $9/24 = 0.375$ (37.5%). На 2-метил-1-хлорбутан и 3-метил-1-хлорбутан приходится вместе 37.5%. Следовательно, доля 2-метил-1-хлорбутана 25%, доля 3-метил-1-хлорбутана – 12.5%.

Ответ: 2-метил-2-хлорбутана 25%, 2-метил-3-хлорбутана 37.5%, 2-метил-1-хлорбутана 25%, 3-метил-1-хлорбутана 12.5%.

8.2. При хлорировании пропана на свету при 25°C получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Сколько (в %) и каких монохлорпроизводных может содержать смесь, полученная при хлорировании 3-метилпентана на свету при 25°C? Ответ подтвердите расчетом. **(15 баллов)**

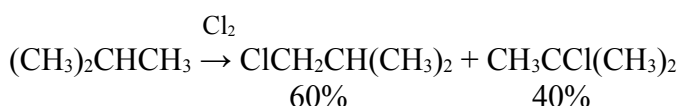
Решение.



Можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 40\%/6\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{втор}} = 60\%/2\text{H} = 30\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при вторичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{втор}}/V_{\text{перв}} = 30/6.67 = 4.5$

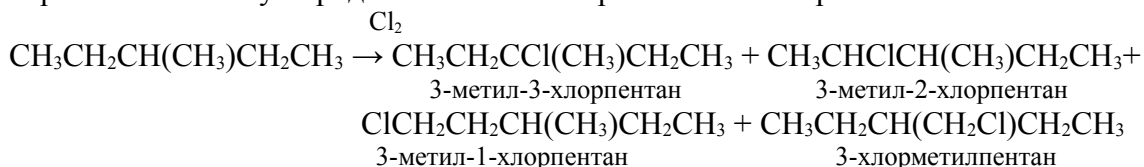


Аналогично можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и третичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 60\%/9\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{трет}} = 40\%/1\text{H} = 40\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при третичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{трет}}/V_{\text{перв}} = 40/6.67 = 6.0$

При хлорировании 3-метилпентана образуются четыре монохлорпроизводных: 3-метил-3-хлорпентан (продукт замещения у третичного атома углерода), 3-метил-2-хлорпентан (продукт замещения у вторичного атома углерода) и два продукта замещения у первичного атома углерода - 3-метил-1-хлорпентан и 3-хлорметилпентан.



Молекула 3-метилпентана содержит один атом Н при третичном углероде, четыре атома Н при вторичном углероде и девять атомов Н при первичных атомах углерода. Примем за единицу скорость замещения у первичного атома углерода, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода равна 4.5, а скорость замещения у третичного атома углерода равна 6.

9 первичных атомов Н $\times 1 = 9$ (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов С. Две группы CH_3 , связанные с CH_2 -группами и одна группа CH_3 , связанная с CH -группой).

4 вторичных атома Н $\times 4.5 = 18$ (относительное количество продукта замещения у вторичного атома С).

1 третичный атом Н $\times 6 = 6$ (относительное количество продукта замещения у третичного атома С).

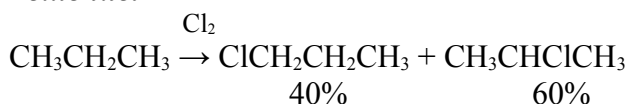
Тогда, доля 3-метил-3-хлорпентана равна $6/33 = 0.1818$ (18.18%), доля 3-метил-2-хлорпентана равна $18/33 = 0.5455$ (54.55%). На 3-метил-1-хлорпентан и 3-

хлорметилпентан приходится вместе 27.27%. Следовательно, доля 3-метил-1-хлорпентана 18.18%, доля 3-хлорметилпентана – 9.09%.

Ответ: 3-метил-3-хлорпентана 18.18%, 3-метил-2-хлорпентана 54.55%, 3-метил-1-хлорпентана 18.18%, 3-хлорметилпентана 9.09%.

8.3. При хлорировании пропана на свету при 25°C получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях изобутана получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Сколько (в %) и каких монохлорпроизводных может содержать смесь, полученная при хлорировании 2-метилпентана на свету при 25°C? Ответ подтвердите расчетом. **(15 баллов)**

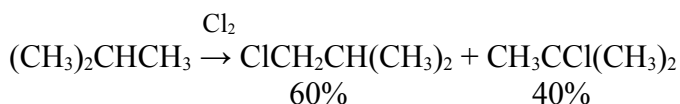
Решение.



Можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 40\%/6\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{втор}} = 60\%/2\text{H} = 30\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при вторичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{втор}}/V_{\text{перв}} = 30/6.67 = 4.5$

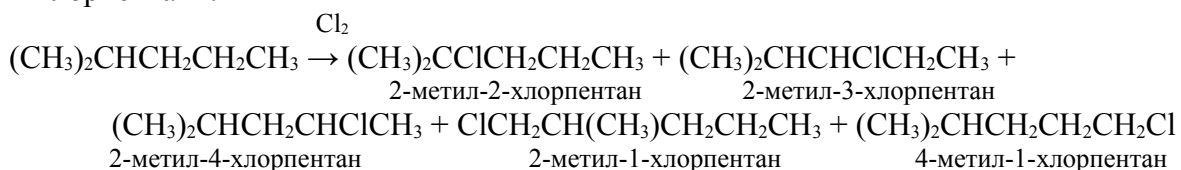


Аналогично можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и третичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 60\%/9\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{трет}} = 40\%/1\text{H} = 40\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при третичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{трет}}/V_{\text{перв}} = 40/6.67 = 6.0$

При хлорировании 2-метилпентана образуются пять монохлорпроизводных: 2-метил-2-хлорпентан (продукт замещения у третичного атома углерода), два продукта замещения у вторичного атома углерода - 2-метил-3-хлорпентан и - 2-метил-4-хлорпентан и два продукта замещения у вторичного атома углерода - 2-метил-1-хлорпентан и 4-метил-1-хлорпентан .



Молекула 2-метилпентана содержит один атом Н при третичном углероде, четыре атома Н при вторичном углероде и девять атомов Н при первичных атомах углерода. Примем за единицу скорость замещения у первичного атома углерода, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода равна 4.5, а скорость замещения у третичного атома углерода равна 6.

9 первичных атомов Н \times 1 = 9 (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов С. Две группы CH_3 , связанные с CH -группой и одна группа CH_3 , связанная с CH_2 -группой).

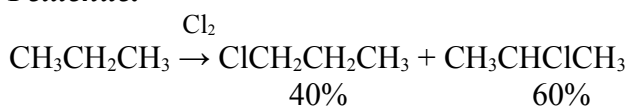
4 вторичных атома Н \times 4.5 = 18 (относительное количество продукта замещения у вторичного атома С. Две группы CH_2).

1 третичный атом Н \times 6 = 6 (относительное количество продукта замещения у третичного атома С).

Тогда, доля 2-метил-2-хлорпентана равна $6/33 = 0.1818$ (18.18%). На 2-метил-3-хлорпентан и 2-метил-4-хлорпентан приходится $18/33 = 0.5455$ (54.55%). Поскольку эти продукты должны образовываться в равных количествах, доля каждого составляет 27.27%. На 2-метил-1-хлорпентан и 4-метил-1-хлорпентан приходится вместе 27.27%. Следовательно, доля 2-метил-1-хлорпентана 18.18%, доля 4-метил-1-хлорпентана – 9.09%.
Ответ: 2-метил-2-хлорпентана 18.18%, 2-метил-3-хлорпентан 27.27%, 2-метил-4-хлорпентан 27.27%, 2-метил-1-хлорпентана 18.18%, 4-метил-1-хлорпентана 9.09%.

8.4. При хлорировании пропана на свету при 25°C получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Сколько (в %) и каких монохлорпроизводных может содержать смесь, полученная при хлорировании 2,4-диметилпентана на свету при 25°C? Ответ подтвердите расчетом. (15 баллов)

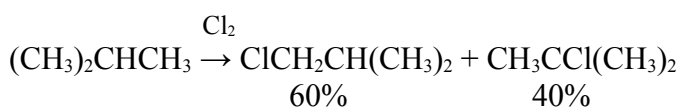
Решение.



Можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 40\%/6\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{втор}} = 60\%/2\text{H} = 30\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при вторичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{втор}}/V_{\text{перв}} = 30/6.67 = 4.5$

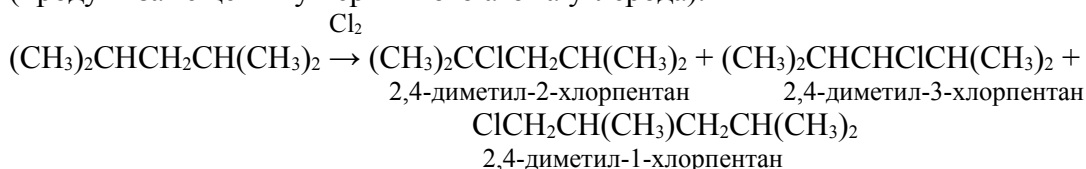


Аналогично можно вычислить относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и третичном атомах углерода, разделив количество продукта на соответствующее число атомов водорода:

$$V_{\text{перв}} = 60\%/9\text{H} = 6.67\%, \quad V_{\text{трет}} = 40\%/1\text{H} = 40\%.$$

Отсюда можно определить во сколько раз скорость замещения атома водорода на хлор при третичном углеродном атоме больше, чем при первичном: $V_{\text{трет}}/V_{\text{перв}} = 40/6.67 = 6.0$

При хлорировании 2,4-диметилпентана образуются три монохлорпроизводных: 2,4-диметил-2-хлорпентан (продукт замещения у третичного атома углерода), 2,4-диметил-3-хлорпентан (продукт замещения у вторичного атома углерода) и -2,4-диметил-1-хлорпентан (продукт замещения у первичного атома углерода).



Молекула 2,4-диметилпентана содержит два атома Н при третичном углероде, два атома Н при вторичном углероде и двенадцать атомов Н при первичных атомах углерода. Примем за единицу скорость замещения у первичного атома углерода, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода равна 4.5, а скорость замещения у третичного атома углерода равна 6.

12 первичных атомов Н \times 1 = 12 (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов С).

2 вторичных атома Н \times 4.5 = 9 (относительное количество продукта замещения у вторичного атома С).

2 третичных атома Н \times 6 = 12 (относительное количество продукта замещения у третичного атома С).

Тогда, доля 2,4-диметил-2-хлорпентана равна $12/33 = 0.3636$ (36.36%). На 2,4-диметил-3-хлорпентан приходится $9/33 = 0.2727$ (27.27%). Доля 2,4-диметил-1-хлорпентана составляет 36.36%.

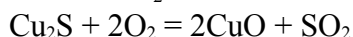
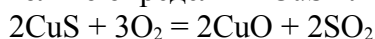
Ответ: 2,4-диметил-2-хлорпентана 36.36%, 2,4-диметил-3-хлорпентана 27.27%, 2,4-диметил-1-хлорпентана 36.36%.

Задание №9

9.1. Сульфид черного цвета (4.8 г) подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода и получили твердое вещество черного цвета (4 г), которое растворяется в соляной кислоте с образованием голубого раствора. Если к полученному раствору добавить гидроксида натрия, то образуется сине-голубой осадок, который растворяется в этиленгликоле с образованием синего раствора. Определите все описанные соединения и напишите все реакции. Свои выводы подтвердите расчетами. **(15 баллов)**

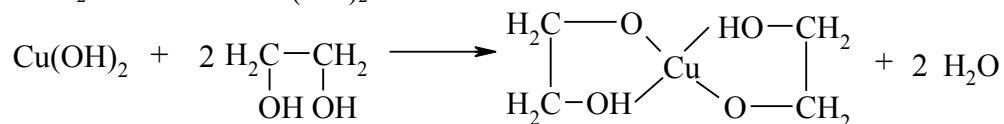
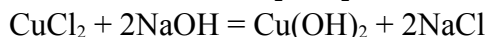
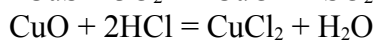
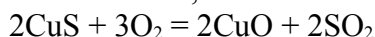
Решение.

Из качественного описания понятно, что исходный сульфид – сульфид меди. Необходимо только определить CuS или Cu_2S .



$$n(\text{CuO}) = 4/80 = 0.05 \text{ моль}$$

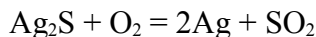
Если это CuS , то его масса должна быть $0.05 \cdot 96 = 4.8$ г, что совпадает с условием.



9.2. Сульфид черного цвета (37.2 г) подвергли окислительному обжигу в атмосфере воздуха. В результате получено 32.4 г твердого вещества серого цвета. Полученное вещество растворяется в концентрированной азотной кислоте с образованием бесцветного раствора. Добавление раствора гидроксида натрия к полученному раствору приводит к образованию черно-коричневого осадка, который растворяется в растворе аммиака. Добавление к аммиачному раствору уксусного альдегида приводит к образованию простого вещества в виде серого осадка или в виде зеркального налета. Определите все описанные соединения и напишите все реакции. Свои выводы подтвердите расчетами. **(15 баллов)**

Решение.

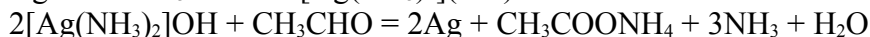
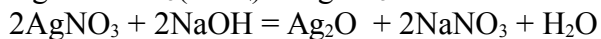
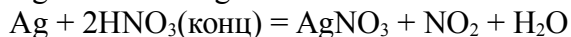
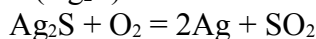
Из качественного описания понятно, что исходный сульфид – сульфид серебра.



Подтвердим предположение расчетом:

$$n(\text{Ag}) = 32.4/108 = 0.3 \text{ моль}$$

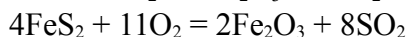
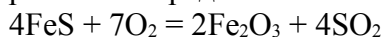
$$m(\text{Ag}_2\text{S}) = 0.3 \cdot 248/2 = 37.2 \text{ г}$$



9.3. Твердое вещество с золотистым блеском (12 г) подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате было получено вещество красно-коричневого цвета (8 г), которое хорошо растворяется в серной кислоте. Если к полученному раствору добавить желтую кровяную соль, то образуется раствор интенсивно-синего цвета. Если к сернокислому раствору добавить гидроксид натрия, то это приведет к образованию осадка бурого цвета. Определите все описанные соединения и напишите все реакции. Свои выводы подтвердите расчетами. **(15 баллов)**

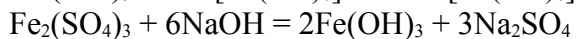
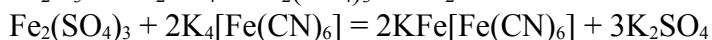
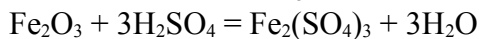
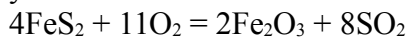
Решение.

Из качественного описания понятно, что это сульфид железа. Необходимо при помощи расчетов определить – какой именно сульфид FeS или FeS₂.



Количество оксида железа(III) $8/160=0.05$ моль

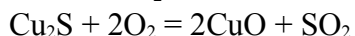
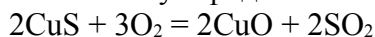
Масса FeS $0.05 \cdot 2 \cdot 88=8.8$ г – не подходит, масса FeS₂ $0.05 \cdot 2 \cdot 120=12$ г, что совпадает с условием.



9.4. Сульфид черного цвета (16 г) подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате было получено твердое вещество черного цвета (16 г), хорошо растворимое в серной кислоте. Если к полученному голубому сернокислому раствору добавить гидроксид натрия и уксусный альдегид, то наблюдается образование осадка кирпичного цвета. Если к сернокислому раствору добавить избыток раствора аммиака, то раствор окрашивается в ярко-синий цвет. Определите все описанные соединения и напишите все реакции. Свои выводы подтвердите расчетами. **(15 баллов)**

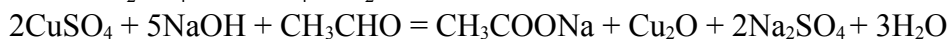
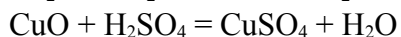
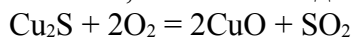
Решение.

Из качественного описания понятно, что это сульфид меди. Остается расчетом определить какой это сульфид CuS или Cu₂S.



$n(\text{CuO}) = 16/80 = 0.2$ моль

Если это CuS, то его масса должна быть $0.2 \cdot 96 = 19.2$ г, что не совпадает с условием. Если это Cu₂S, то его масса должна быть $0.2 \cdot 160/2=16$ г, что совпадает с условием.



Задание №10

10.1. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных карбоновых кислот с гидроксильной группой на конце цепи, массовая доля кислорода равна 50%. Какие кислоты и в каком количестве (в мольных процентах) находятся в смеси? Какие вещества и в каком количестве образуются при нагревании 16.8 г смеси до 150°C? Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

Решение.

$C_nH_{2n}O_3$ – первый гомолог, $C_{n+1}H_{2n+2}O_3$ – второй гомолог.

$$48/(14n + 48) > 0.5, 48/(14n + 62) < 0.5, 3.43 > n > 2.43, n = 3.$$

Первый гомолог – 3-гидроксипропионовая кислота ($HO(CH_2)_2COOH$), второй гомолог – 4-гидроксипропионовая кислота ($HO(CH_2)_3COOH$).

Пусть $v_1 = x$ моль, $v_2 = y$ моль.

$$\text{Тогда } 48(x+y)/(90x + 104y) = 0.5. \quad y = 0.75x.$$

Если $x = 1$ моль, то $y = 0.75$ моль.

$$\varphi_1 = 1/1.75 = 0.5714 (57.14\%), \varphi_2 = 42.86\%.$$

$$\begin{cases} 16.8 = 90x + 104y \\ y = 0.75x \end{cases}$$

$$x = 0.1 \text{ моль, } y = 0.075 \text{ моль}$$

При нагревании 3-гидроксипропионовой кислоты образуются акриловая кислота и вода.

При нагревании 4-гидроксипропионовой кислоты в результате дегидратации образуется циклический эфир - γ -бутиролактон.

$$v_{C_3H_4O_2} = 0.1 \text{ моль, } m_{C_3H_4O_2} = 7.2 \text{ г.}$$

$$v_{C_4H_6O_2} = 0.075 \text{ моль, } m_{C_4H_6O_2} = 6.45 \text{ г.}$$

$$v_{H_2O} = 0.175 \text{ моль, } m_{H_2O} = 3.15 \text{ г.}$$

Ответ: 57.14% $HO(CH_2)_2COOH$, 42.86% $HO(CH_2)_3COOH$, 7.2 г $C_3H_4O_2$, 6.45 г $C_4H_6O_2$, 3.15 г H_2O .

10.2. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных карбоновых кислот с гидроксильной группой на конце цепи, массовая доля кислорода равна 45%. Какие кислоты и в каком количестве (в мольных процентах) находятся в смеси? Какие вещества и в каком количестве образуются при нагревании 5.6 г смеси до 150°C? Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

Решение.

$C_nH_{2n}O_3$ – первый гомолог, $C_{n+1}H_{2n+2}O_3$ – второй гомолог.

$$48/(14n + 48) > 0.45, 48/(14n + 62) < 0.45, 4.19 > n > 3.19, n = 4.$$

Первый гомолог – 4-гидроксипентановая кислота ($\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$), второй гомолог – 5-гидроксипентановая кислота ($\text{HO}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$).

Пусть $\nu_1 = x$ моль, $\nu_2 = y$ моль.

Тогда $48(x+y)/(104x + 118y) = 0.45$. $x = 4.25 y$.

Если $y = 1$ моль, то $x = 4.25$ моль.

$\varphi_1 = 4.25/5.25 = 0.8095$ (80.95%), $\varphi_2 = 19.05\%$.

$$\begin{cases} 5.6 = 104x + 118y \\ x = 4.25 y \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5.6 = 104x + 118y \\ x = 4.25 y \end{cases}$$

$y = 0.01$ моль, $x = 0.0425$ моль

При нагревании 4-гидроксипентановой и 5-гидроксипентановой кислот в результате дегидратации образуются циклические эфиры - γ -бутиролактон и δ -валеролактон.

$\nu_{\text{H}_2\text{O}} = 0.0525$ моль, $m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.945$ г.

$\nu_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2} = 0.425$ моль, $m_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2} = 3.655$ г.

$\nu_{\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2} = 0.01$ моль, $m_{\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2} = 1.0$ г.

Ответ: 80.95% $\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$, 19.05% $\text{HO}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$, 1.0 г $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$, 3.655 г $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$, 0.945 г H_2O .

10.3. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных неразветвленных дикарбоновых кислот, массовая доля кислорода равна 60%. Какие кислоты и в каком количестве (в мольных процентах) находятся в смеси? Какие вещества и в каком количестве образуются при нагревании до 250°C 56 г смеси? Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

Решение.

$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$ – первый гомолог, $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n}\text{O}_4$ – второй гомолог.

$64/(14n + 62) > 0.6$, $64/(14n + 76) < 0.6$, $3.19 > n > 2.19$, $n = 3$.

Первый гомолог – малоновая кислота ($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$), второй гомолог – янтарная кислота ($\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$).

Пусть $\nu_1 = x$ моль, $\nu_2 = y$ моль.

Тогда $64(x+y)/(104x + 118y) = 0.6$. $x = 4.25y$.

Если $y = 1$ моль, то $x = 4.25$ моль.

$\varphi_1 = 4.25/5.25 = 0.8095$ (80.95%), $\varphi_2 = 19.05\%$.

$$\begin{cases} 56 = 104x + 118y \\ x = 4.25 y \end{cases}$$

$$\begin{cases} 56 = 104x + 118y \\ x = 4.25 y \end{cases}$$

$y = 0.1$ моль, $x = 0.425$ моль

При нагревании малоновой кислоты в результате декарбоксилирования образуется уксусная кислота. При нагревании янтарной кислоты образуются циклический ангидрид и вода.

$$v_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0.425 \text{ моль}, m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 25.5 \text{ г.}$$

$$v_{\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3} = 0.1 \text{ моль}, m_{\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3} = 10.0 \text{ г.}$$

$$v_{\text{CO}_2} = 0.425 \text{ моль}, m_{\text{CO}_2} = 18.7 \text{ г.}$$

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1 \text{ моль}, m_{\text{H}_2\text{O}} = 1.8 \text{ г.}$$

Ответ: 80.95% $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$, 19.05% $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$, 25.5 г CH_3COOH , 10.0 г $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3$, 18.7 г CO_2 , 1.8 г H_2O .

10.4. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных неразветвленных дикарбоновых кислот, массовая доля кислорода равна 50%. Какие кислоты и в каком количестве (в мольных процентах) находятся в смеси? Какие вещества и в каком количестве образуются при нагревании до 250°C 44.8 г смеси? Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

Решение.

$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$ – первый гомолог, $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n}\text{O}_4$ – второй гомолог.

$$64/(14n + 62) > 0.5, \quad 64/(14n + 76) < 0.5, \quad 4.71 > n > 3.71, \quad n = 4.$$

Первый гомолог – янтарная кислота ($\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$), второй гомолог – глутаровая кислота ($\text{HOOC}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$).

Пусть $v_1 = x$ моль, $v_2 = y$ моль.

$$\text{Тогда } 64(x+y)/(104x + 118y) = 0.5. \quad y = 2.5x.$$

Если $x = 1$ моль, то $y = 2.5$ моль.

$$\varphi_1 = 1/3.5 = 0.2857 (28.57\%), \quad \varphi_2 = 71.43\%.$$

$$\begin{cases} 44.8 = 118x + 132y \\ y = 2.5x \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = 0.1 \text{ моль}, \\ y = 0.25 \text{ моль} \end{cases}$$

$x = 0.1$ моль, $y = 0.25$ моль

При нагревании янтарной и глутаровой кислот образуются циклические ангидриды и вода.

$\nu_{\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3} = 0.1$ моль, $m_{\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3} = 10.0$ г.

$\nu_{\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_3} = 0.25$ моль, $m_{\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_3} = 28.5$ г.

$\nu_{\text{H}_2\text{O}} = 0.35$ моль, $m_{\text{H}_2\text{O}} = 6.3$ г.

Ответ: 28.57% $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$, 71.43% $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$, 10.0 г $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_3$,
28.5 г $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_3$, 6.3 г H_2O .



2015/2016 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ¹

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.

¹ Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по химии