

# РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ОТБОРОЧНОГО (РАЙОННОГО) ЭТАПА

## Теоретический тур

### 10 класс

#### Задача 1. Вариант 1

К 100 мл раствора едкого натра с концентрацией 0,4 моль/л добавили навеску пищевой соды, содержащую  $2,71 \cdot 10^{22}$  атомов кислорода. Рассчитайте массовые доли всех веществ в полученном растворе, если известно, что плотность исходного раствора едкого натра равна  $1016 \text{ кг/м}^3$ .

#### Вариант решения

1. Установим количество реагирующих веществ:

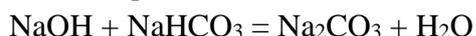
$$n(\text{NaOH}) = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 \text{ моль};$$

Вычислим количество вещества соды, зная, что в каждой частице соды содержится 3 атома O:

$$n(\text{O в NaHCO}_3) = 2,71 \cdot 10^{22} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,045 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{O в NaHCO}_3) / 3 = 0,015 \text{ моль}; \quad m(\text{NaHCO}_3) = 0,015 \cdot 84 = 1,26 \text{ г}$$

2. Напишем уравнение протекающей реакции:



Поскольку коэффициенты перед исходными соединениями равны, то сравниваем их количества вещества.  $\text{NaHCO}_3$  взят в недостатке, расчёт ведём по его количеству:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) = 0,015 \text{ моль}; \quad m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,015 \cdot 106 = 1,59 \text{ г}$$

$$n_{\text{конеч.}}(\text{NaOH}) = n_{\text{исх.}}(\text{NaOH}) - n(\text{NaHCO}_3) = 0,025 \text{ моль};$$

$$m_{\text{конеч.}}(\text{NaOH}) = 0,025 \cdot 40 = 1 \text{ г}$$

3. Суммарная масса конечного раствора складывается из массы начального раствора и массы добавленной соды. Рассчитаем их:

$$\rho_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) = 1016 \text{ кг/м}^3 = 1,016 \text{ г/см}^3;$$

$$m_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) = V \cdot \rho = 100 \cdot 1,016 = 101,6 \text{ г};$$

$$m_{\text{конеч. р-ра}} = m_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) + m_{\text{исх. в-ва}}(\text{NaHCO}_3) = 101,6 + 1,26 = 102,86 \text{ г}$$

Зная массу конечного раствора и массу получившихся в ходе реакции веществ, рассчитаем их массовые доли в конечном растворе:

$$\omega_{\text{конеч.}}(\text{NaOH}) = 1 \cdot 100 / 102,86 = \mathbf{0,97\%}$$

$$\omega_{\text{конеч.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,59 \cdot 100 / 102,86 = \mathbf{1,55\%}$$

#### Рекомендации к оцениванию

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Верно определены исходные количества вещества NaOH и NaHCO <sub>3</sub> – по 0,5 балла за каждое      | 1 балл  |
| 2. Верно рассчитаны массы NaOH и Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> в конечном растворе, в том числе:       | 2 балла |
| • расчёт ведётся по количеству вещества в недостатке (NaHCO <sub>3</sub> ) – 0,5 балла                   |         |
| • понимание, что в конечном растворе находятся только NaOH и Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 0,5 балла |         |
| • массы продуктов (в виде значения или как часть общей формулы)  |         |

– по 0,5 балла за каждое

3. Верно рассчитаны массовые доли NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в конечном растворе, в том числе: 2 балла

- масса конечного раствора (в виде значения, общей формулы или косвенного указания) – 1 балл
- значения массовых долей (независимо от наличия выкладок) – по 0,5 балла за каждую

**ИТОГО: 5 баллов**

### Задача 1. Вариант 2

К 100 мл раствора едкого натра концентрацией 0,2 моль/л добавили навеску пищевой соды, содержащую  $5,42 \cdot 10^{22}$  атомов кислорода. Рассчитайте массовые доли всех веществ в полученном растворе, если известно, что плотность исходного раствора едкого натра равна  $1007 \text{ кг/м}^3$ .

#### Вариант решения

1. Установим количество реагирующих веществ:

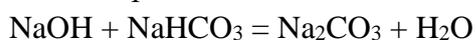
$$n(\text{NaOH}) = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ моль};$$

Вычислим количество вещества соды, зная, что в каждой частице соды содержится 3 атома O:

$$n(\text{O в NaHCO}_3) = 5,42 \cdot 10^{22} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,09 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{O в NaHCO}_3) / 3 = 0,03 \text{ моль}; \quad m(\text{NaHCO}_3) = 0,03 \cdot 84 = 2,52 \text{ г.}$$

2. Напишем уравнение протекающей реакции:



Поскольку коэффициенты перед исходными соединениями равны, то сравниваем их количества вещества. NaOH взят в недостатке, расчёт ведём по его количеству:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{NaOH}) = 0,02 \text{ моль}; \quad m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,02 \cdot 106 = 2,12 \text{ г}$$

$$n_{\text{конеч.}}(\text{NaHCO}_3) = n_{\text{исх.}}(\text{NaHCO}_3) - n(\text{NaOH}) = 0,01 \text{ моль};$$

$$m_{\text{конеч.}}(\text{NaHCO}_3) = 0,01 \cdot 84 = 0,84 \text{ г}$$

3. Суммарная масса конечного раствора складывается из массы начального раствора и массы добавленной соды. Рассчитаем их:

$$\rho_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) = 1007 \text{ кг/м}^3 = 1,007 \text{ г/см}^3;$$

$$m_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) = V \cdot \rho = 100 \cdot 1,007 = 100,7 \text{ г};$$

$$m_{\text{конеч. р-ра}} = m_{\text{исх. р-ра}}(\text{NaOH}) + m_{\text{исх. в-ва}}(\text{NaHCO}_3) = 100,7 + 2,52 = 103,22 \text{ г}$$

Зная массу конечного раствора и массу получившихся в ходе реакции веществ, рассчитаем их массовые доли в конечном растворе:

$$\omega_{\text{конеч.}}(\text{NaHCO}_3) = 0,84 \cdot 100 / 103,22 = \mathbf{0,81\%}$$

$$\omega_{\text{конеч.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,12 \cdot 100 / 103,22 = \mathbf{2,05\%}$$

#### Рекомендации к оцениванию

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Верно определены исходные количества вещества NaOH и NaHCO <sub>3</sub> – по 0,5 балла за каждое   | 1 балл  |
| 2. Верно рассчитаны массы NaHCO <sub>3</sub> и Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> в конечном растворе, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>расчёт ведётся по количеству вещества в недостатке (NaOH) – 0,5 балла</li><li>понимание, что в конечном растворе находятся NaHCO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 0,5 балла</li><li>массы продуктов (в виде значения или как часть общей формулы) – по 0,5 балла за каждое</li></ul> | 2 балла |
| 3. Верно рассчитаны массовые доли NaHCO <sub>3</sub> и Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> в конечном растворе, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>масса конечного раствора (в виде значения, общей формулы или косвенного указания) – 1 балл</li><li>значения массовых долей (независимо от наличия выкладок) – по</li></ul>   | 2 балла |

0,5 балла за каждую

**ИТОГО:** | **5 баллов**

## Задача 2. Вариант 1

При пропускании электрического тока в течение некоторого времени через водный раствор хлорида натрия (масса растворенного хлорида натрия равна 100 г) выделилось 200 мл газа (н.у.). Какой объём газа выделится, если заменить хлорид натрия на хлорид меди (II) такой же массы и провести электролиз при той же силе тока и времени пропускания? Каков в этом случае состав газа? Приведите уравнения упомянутых реакций.

### Вариант решения

#### 1. Рассмотрим электролиз NaCl

Уравнение диссоциации:  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

На катоде (–) будет протекать следующая реакция:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$

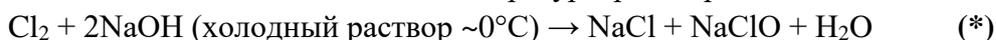
На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$

Общее уравнение электролиза (участвует 2e):  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2\uparrow$  (1)

Дальнейшее решение зависит от конструкции электролизёра. Оба варианта являются правильными и должны быть засчитаны.

а) Если считать, что катодное и анодное пространство полностью разделены (U-образная трубка), то протекает реакция (1), выделяется водород и хлор общим объёмом 200 мл, т.е. по 100 мл на каждый газ.

б) Если считать, что катодное и анодное пространство не разделены (стакан), то хлор будет реагировать с гидроксидом натрия (последующая реакция в растворе). Уравнение их взаимодействия зависит от температуры раствора:



В обоих процессах соотношение  $n(\text{Cl}_2) : n(\text{NaOH}) = 1 : 2$ , как и в реакции (1). Значит, при электролизе раствора NaCl без разделения катодного и анодного пространства хлор поглотится полностью, и выделившийся газ объёмом 200 мл – только водород  $\text{H}_2$ .

#### 2. Рассмотрим электролиз $\text{CuCl}_2$

Уравнение диссоциации:  $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$

На катоде (–) будет протекать следующая реакция:  $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}\downarrow$  (газ не выделяется)

На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$

Общее уравнение электролиза (участвует 2e):  $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}\downarrow + \text{Cl}_2\uparrow$  (2)

Значит, в результате электролиза раствора  $\text{CuCl}_2$  будет выделяться только один газ – хлор.

3. Количества веществ вступивших в реакцию реагентов и образовавшихся продуктов связаны с условиями электролиза (силой тока и временем) законом Фарадея:

$$n = \frac{Q}{z \cdot F} \quad \text{или} \quad n = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

Условия электролиза в процессах (1) и (2) одинаковы: одинаковое время  $t$ , одинаковая постоянная сила тока  $I$ , а также в обеих реакциях (1) и (2) от анода к катоду переносится  $z = 2$  электрона. Следовательно, **количества веществ, участвующих в двух записанных реакциях (1) и (2) (например,  $\text{H}_2$  в реакции (1) и  $\text{Cl}_2$  в реакции (2)), относятся так же, как коэффициенты перед этими веществами в соответствующих уравнениях реакций.**

4. Выполним расчёт в предположении, что катодное и анодное пространство **разделены**.

При электролизе раствора NaCl суммарное количество вещества выделившихся газов:

$$n(\text{H}_2 + \text{Cl}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,200 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,00893 \text{ моль.}$$

Количество вещества водорода и хлора:

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = n(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,00893 \text{ моль} / 2 = 0,00446 \text{ моль.}$$

Отметим, что в реакцию вступила только малая часть NaCl, поскольку:

$$n_{\text{вступило}}(\text{NaCl}) = 2 n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,00893 \text{ моль}$$

$$n_{\text{было}}(\text{NaCl}) = 100 \text{ г} / 58,5 \text{ г/моль} = 1,71 \text{ моль.}$$

При электролизе раствора CuCl<sub>2</sub>: количество вещества хлора, а значит, и объём, такие же, как в случае NaCl (допускается пользоваться законом объёмных отношений):

$$n(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (2)}} = n(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,00446 \text{ моль}$$

$$V(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (2)}} = 22,4 \cdot 0,00446 = 0,1 \text{ л} = \mathbf{100 \text{ мл}}$$

При электролизе раствора CuCl<sub>2</sub> выделилось в 2 раза меньше газов по объёму, чем при электролизе раствора NaCl с разделённым катодным и анодным пространством.

5. Выполним расчёт в предположении, что катодные и анодные пространства **не разделены**.

В процессе (1) выделяется только водород:

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,200 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,00893 \text{ моль.}$$

В процессе (2) выделяется только хлор таким же количеством:

$$n(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (2)}} = n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,00893 \text{ моль}$$

$$V(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (2)}} = 22,4 \cdot 0,00893 = 0,1 \text{ л} = \mathbf{200 \text{ мл}}$$

При электролизе раствора CuCl<sub>2</sub> выделилось столько же газов по объёму, сколько при электролизе раствора NaCl с неразделёнными катодным и анодным пространства.

### Рекомендации к оцениванию

- |   |         |
|---|---------|
| <p>1. Верно определён состав газовой смеси в реакции (1) и (2), в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• в уравнениях или рассуждениях отражён <b>хотя бы один из случаев</b> по реакции (1): выделяется смесь H<sub>2</sub> и Cl<sub>2</sub> (если пространства разделены) / только H<sub>2</sub> (если не разделены) – 0,5 балла;</li><li>• отражено, что в реакции (2) – только Cl<sub>2</sub> – 0,5 балла</li><li>• записаны общие уравнения реакций электролиза NaCl и CuCl<sub>2</sub> в молекулярном виде – по 0,5 балла</li></ul>                           | 2 балла |
| <p>2. Верно вычислен объём Cl<sub>2</sub>, выделившегося в реакции (2), <b>хотя бы в одном предположении</b> о разделённых катодном и анодном пространстве, в том числе</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• сформулировано или записано в виде общей формулы, что можно переходить по коэффициентам от количеств веществ (вступивших реагентов / продуктов) в реакции (1) к количествам в реакции (2), т.к. одинаковы <math>I, t, z</math> – 2,5 балла</li><li>• верное значение объёма Cl<sub>2</sub> в реакции (2) (независимо от наличия выкладок) – 0,5 балла</li></ul> | 3 балла |

**ИТОГО: 5 баллов**

## Задача 2. Вариант 2

При пропускании электрического тока в течение некоторого времени через водный раствор хлорида натрия (масса растворенного хлорида натрия равна 50 г) выделилось 300 мл газа (н.у.). Какой объём газа выделится, если заменить хлорид натрия на сульфат натрия такой же массы и провести электролиз при той же силе тока и времени пропускания? Каков в этом случае состав газа? Приведите уравнения упомянутых реакций.

### Вариант решения

#### 1. Рассмотрим электролиз NaCl

Уравнение диссоциации:  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

На катоде (–) будет протекать следующая реакция:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$

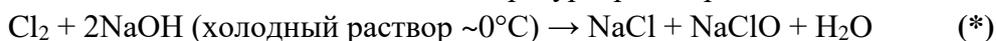
На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$

Общее уравнение электролиза (участвует 2e):  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2\uparrow$  (1)

Дальнейшее решение зависит от конструкции электролизёра. Оба варианта являются правильными и должны быть засчитаны.

а) Если считать, что катодное и анодное пространство полностью разделены (U-образная трубка), то протекает реакция (1), выделяется водород и хлор общим объёмом 200 мл, т.е. по 100 мл на каждый газ.

б) Если считать, что катодное и анодное пространство не разделены (стакан), то хлор будет реагировать с гидроксидом натрия (последующая реакция в растворе). Уравнение их взаимодействия зависит от температуры раствора:



В обоих процессах соотношение  $n(\text{Cl}_2) : n(\text{NaOH}) = 1 : 2$ , как и в реакции (1). Значит, при электролизе раствора NaCl без разделения катодного и анодного пространства хлор поглотится полностью, и выделившийся газ объёмом 100 мл – только водород  $\text{H}_2$ .

#### 2. Рассмотрим электролиз $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Уравнение диссоциации:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

На катоде (–) будет протекать следующая реакция:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$

На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

Общее уравнение электролиза (участвует 4e):  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$  (2)

Значит, в результате электролиза будет выделяться кислород и водород.

3. Количества веществ вступивших в реакцию реагентов и образовавшихся продуктов связаны с условиями электролиза (силой тока и временем) законом Фарадея:

$$n = \frac{Q}{z \cdot F} \quad \text{или} \quad n = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

Условия электролиза в процессах (1) и (2) одинаковы: одинаковое время  $t$ , одинаковая постоянная сила тока  $I$ . Если при этом домножить реакции (1) и (2) на такие коэффициенты, чтобы в каждой из них участвовало **одинаковое количество электронов**  $z$ , переходящих с анода на катод, тогда **количества веществ, участвующих в реакциях (1) и (2'), будут относиться так же, как относятся коэффициенты перед этими веществами в соответствующих уравнениях реакций:**



- сформулировано или записано в виде общей формулы, что можно переходить по коэффициентам от количеств веществ (вступивших реагентов / продуктов) в реакции (1) к количествам в реакции (2'), т.к. одинаковы  $I, t, z$  – 2,5 балла
- верное значение объёма газовой смеси в реакции (2') (независимо от наличия выкладок) – 0,5 балла

**ИТОГО: 5 баллов**

### Задача 3. Вариант 1

В воде растворили навеску купороса **X** массой 5 г. К полученному раствору добавили карбонат натрия до полного прекращения реакции, при этом объем выделившегося газа составил 240 мл (20 °С, 1 атм), а массовая доля водорода в осадке составила 0,90%. Определите состав купороса **X** и напишите уравнение упомянутой реакции, если известно, что использованный купорос **X** является кристаллогидратом, содержащим пять молекул воды. Ответ подтвердите расчетом. Как называется минерал, имеющий тот же состав, что и осадок?

#### Вариант решения

1. Купоросами называют кристаллогидраты сульфатов некоторых металлов в степени окисления +2. Обозначим неизвестный металл за **M**, тогда формула пентагидрата соли **X** примет вид:  $M\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Молярная масса соли **X** в общем виде:  $M(\text{X}) = M(\text{M}) + 186$

Количество соли **X** в общем виде:  $n(\text{X}) = 2,5 / (M(\text{M}) + 186)$

Единственный газ, который может выделиться при реакции купороса и карбоната натрия – углекислый газ. Считая его идеальным газом, определим число моль  $\text{CO}_2$  по уравнению Менделеева-Клапейрона:

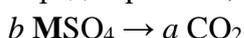
$$n(\text{CO}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 240 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = 0,01 \text{ моль},$$

либо по закону Гей-Люссака:

$$\frac{V(\text{н.у.})}{V} = \frac{T(\text{н.у.})}{T}, \text{ откуда } V(\text{н.у.}) = V \cdot \frac{T(\text{н.у.})}{T} = 240 \cdot 273 / 293 = 223,6 \text{ мл, следовательно,}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,2236 / 22,4 = 0,01 \text{ моль.}$$

Свяжем количества  $\text{CO}_2$  и кристаллогидрата. Пусть коэффициент в уравнении реакции перед **X** равен  $b$ , перед  $\text{CO}_2$  равен  $a$  (где  $a$  и  $b$  – целые числа). Схема реакции:



Отсюда следует связь количеств:

$$n(\text{CO}_2)/n(\text{X}) = a/b = 0,01(M(\text{M}) + 186)/5$$

$$M(\text{M}) = 500a/b - 186$$

Единственный разумный вариант получается при  $2a = b$ :  $M(\text{M}) = 64$  г/моль – это медь. Тогда **X** – медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

2. Поскольку в осадке есть атомы водорода, то образовалась не средняя, а основная соль меди  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ . Проверим правильность предположения, зная  $\omega(\text{H})$  в  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ :  $\omega(\text{H}) = 100 \cdot 2 / 222 = 0,9\%$  – что совпадает с условием.

3. Минерал состава  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  имеет название малахит.

4. Уравнение реакции имеет вид:



#### Рекомендации к оцениванию

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Составлено и верно рассчитано соотношение количеств веществ кристаллогидрата и $\text{CO}_2$ , в том числе: | 2 балла |
| • количество $\text{CO}_2$ (в виде значения или как часть общей формулы) – 1 балл                              |         |
| • прямо или косвенно учтено, что подходит $a = b$ – 1 балл   |         |

2. Определено, что металл – Cu, а соль – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (независимо от наличия выкладок), в том числе:	2 балла
<ul style="list-style-type: none"> <li>• указано или учтено в формуле, что соль содержит сульфат-анионы – 0,5 балла</li> <li>• за формулы металла и соли – по 0,75 балла</li> </ul>	
3. Дано верное название минерала	1 балл
<b>ИТОГО:</b>	<b>5 баллов</b>

### Задача 3. Вариант 2

В воде растворили навеску купороса **Y** массой 4 г. К полученному раствору добавили карбонат натрия до полного прекращения реакции, при этом объем выделившегося газа составил 185 мл (10 °С, 1 атм), а массовая доля водорода в осадке составила 0,90%. Определите состав купороса **Y** и напишите уравнение упомянутой реакции, если известно, что использованный купорос **Y** является кристаллогидратом, содержащим пять молекул воды. Ответ подтвердите расчетом. Как называется минерал, имеющий тот же состав, что и осадок?

#### Вариант решения

1. Купоросами называют кристаллогидраты сульфатов некоторых металлов в степени окисления +2. Обозначим неизвестный металл за **M**, тогда формула пентагидрата соли **X** примет вид:  $M\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Молярная масса соли **X** в общем виде:  $M(\text{X}) = M(\text{M}) + 186$

Количество соли **X** в общем виде:  $n(\text{X}) = 2,5 / (M(\text{M}) + 186)$

Единственный газ, который может выделиться при реакции купороса и карбоната натрия – углекислый газ. Считая его идеальным газом, определим число моль  $\text{CO}_2$  по уравнению Менделеева-Клапейрона:

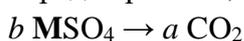
$$n(\text{CO}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 185 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 283 \text{ К}} = 0,008 \text{ моль},$$

либо по закону Гей-Люссака:

$$\frac{V(\text{н.у.})}{V} = \frac{T(\text{н.у.})}{T}, \text{ откуда } V(\text{н.у.}) = V \cdot \frac{T(\text{н.у.})}{T} = 185 \cdot 273 / 283 = 178,46 \text{ мл, следовательно,}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,14746 / 22,4 = 0,008 \text{ моль.}$$

Свяжем количества  $\text{CO}_2$  и кристаллогидрата. Пусть коэффициент в уравнении реакции перед **X** равен  $b$ , перед  $\text{CO}_2$  равен  $a$  (где  $a$  и  $b$  – целые числа). Схема реакции:



Отсюда следует связь количеств:

$$n(\text{CO}_2)/n(\text{X}) = a/b = 0,008(M(\text{M}) + 186)/4$$

$$M(\text{M}) = 500a/b - 186$$

Единственный разумный вариант получается при  $2a = b$ :  $M(\text{M}) = 64 \text{ г/моль}$  – это медь. Тогда **X** – медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

2. Поскольку в осадке есть атомы водорода, то образовалась не средняя, а основная соль меди  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ . Проверим правильность предположения, зная  $\omega(\text{H})$  в  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ :  $\omega(\text{H}) = 100 \cdot 2 / 222 = 0,9\%$  – что совпадает с условием.

3. Минерал состава  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  имеет название малахит.

4. Уравнение реакции имеет вид:



#### Рекомендации к оцениванию

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Составлено и верно рассчитано соотношение количеств веществ кристаллогидрата и $\text{CO}_2$ , в том числе: | 2 балла |
| • количество $\text{CO}_2$ (в виде значения или как часть общей формулы) – 1 балл                              |         |
| • прямо или косвенно учтено, что подходит $a = b - 1$ балла  |         |

<p>2. Определено, что металл – Cu, а соль – <math>\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math> (независимо от наличия выкладок), в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• указано или учтено в формуле, что соль содержит сульфат-анионы – 0,5 балла</li> <li>• за формулы металла и соли – по 0,75 балла</li> </ul> <p>3. Дано верное название минерала</p>	<p>2 балла</p> <p>1 балл</p> <p><b>ИТОГО: 5 баллов</b></p>
---	--

В связи с имевшейся в условии задачи 10-3 ошибкой (соотношение количеств веществ купороса  $\text{CO}_2$  1:1 вместо 2:1), оценивание этой задачи следует вести следующим образом:

А) Если задача решалась тем же способом, как указано к решению, то оценивание ведется по критериям, описанным выше

Б) Если задача решалась через уравнение реакции, записанное в общем виде, и указано, что нет металлов, удовлетворяющих условию, то задача оценивается следующим образом:

- верно рассчитано количество вещества  $\text{CO}_2$  – 1 балл
- приведена общая формула купороса  $\text{MSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 0,5 балла
- записано в общем виде уравнение реакции купороса с карбонатом натрия – 1 балл
- приведены выкладки, которые привели к молярной массе металла 32 г/моль или молярной массе купороса 125 г/моль, либо сделан вывод, что нет металла, удовлетворяющего условию задачи – 0,5 балл
- по массовой доле водорода выведена формула  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  – 1 балл
- дано верное название минерала – 1 балл

В) Если изначально записан медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , а затем

- верно рассчитано количество вещества  $\text{CO}_2$  – 1 балл
- приведена формула медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 1 балл
- записано уравнение реакции купороса с карбонатом натрия – 1 балл
- по массовой доле водорода выведена формула  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  – 1 балл
- дано верное название минерала – 1 балл

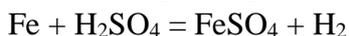
#### Задача 4. Вариант 1

Растворение железа в серной кислоте при 20 °С заканчивается через 20 минут, а при 30 °С такой же образец металла растворяется за 6 минут. Запишите химическое уравнение протекающей реакции. Во сколько раз обычно изменяется скорость химической реакции при изменении температуры на 10 °С? На основании имеющихся данных рассчитайте:

- 1) Во сколько раз быстрее железо растворяется при 30 °С, чем при 20 °С;
- 2) За какое время данный образец железа растворится при 50 °С.

#### Вариант решения

1. Реакция растворения железа в серной кислоте



2. Известно, что при изменении температуры **на каждые** 10 градусов скорость реакции изменяется в  $\gamma$  раз (обычно 2-4 раза) – это правило Вант-Гоффа. Важно понимать, что при повышении/понижении температуры на 20 градусов скорость возрастёт/уменьшится в  $\gamma^2$  раз, на 30 градусов – в  $\gamma^3$  раз, и так далее.

3. Скорость химической реакции определяют как изменение концентрации за единицу времени. В случае растворения железа её можно рассчитать как количество образовавшегося  $\text{FeSO}_4$  в единице объёма образовавшегося раствора:

$$v = \frac{\Delta C(\text{FeSO}_4)}{\Delta t}$$

Примем, что в реакциях при 20 °С, 30 °С и 50 °С образуется одинаковый объём раствора, и учтём, что исходное количество вещества железа, а, следовательно, и количество вещества  $\text{FeSO}_4$  одинаковы. Значит, отношение скоростей химической реакции обратно пропорционально отношению времени полного протекания реакции.

При повышении температуры на 10 градусов с 20 °С до 30 °С скорость изменится в

$$\frac{v(30\text{ }^\circ\text{C})}{v(20\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{\Delta t(20\text{ }^\circ\text{C})}{\Delta t(30\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{20}{6} = 3,33 \text{ раза}$$

4. При повышении температуры на каждые 10 градусов скорость реакции, идущей в данной системе, увеличится в  $\gamma = 3,33$  раза.

Следовательно, при повышении температуры с 30 °С до 50 °С скорость реакции увеличится в  $\gamma^2 = 3,33^2 = 11,09$  раз. Значит, время на реакцию при 50 °С в 11,09 раз меньше:  $\Delta t(50\text{ }^\circ\text{C}) = 6 \text{ минут} / 11,09 = 0,541 \text{ минуты}$  или 32,5 секунды.

#### Рекомендации к оцениванию

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Записано уравнение реакции Fe с $\text{H}_2\text{SO}_4$  | 1 балл  |
| 2. Указано, что при повышении температуры на 10 градусов скорость реакции будет увеличиваться в 2-4 раза  | 1 балл  |
| 3. Верно рассчитано, во сколько раз увеличится скорость реакции при изменении температуры с 20 °С до 30 °С, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>• прямо или косвенно учтена обратная пропорциональность скорости и времени – 0,5 балла</li><li>• значение <math>\gamma</math> (независимо от наличия выкладок) – 0,5 балла</li></ul> | 1 балл  |
| 4. Верно рассчитано, за какое время пройдёт реакция при 50 °С, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>• прямо или косвенно учтено, что скорость реакции увеличится в <math>\gamma^2</math></li></ul>  | 2 балла |

раз по сравнению с 30 °С или в  $\gamma^3$  раз по сравнению с 20 °С – 0,5 балла

- указано, что реакция при 50 °С идёт в 11,09 раз быстрее, чем при 30 °С, либо в 36,93 раза быстрее, чем при 20 °С – 0,5 балла
- время протекания реакции при 50 °С в минутах или секундах (независимо от наличия выкладок) – 1 балл

**ИТОГО: 5 баллов**

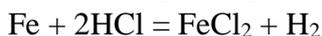
#### Задача 4. Вариант 2

Растворение железа в соляной кислоте при 30 °С заканчивается через 12 минут, а при 40 °С такой же образец металла растворяется за 5 минут. Запишите химическое уравнение протекающей реакции. Во сколько раз обычно изменяется скорость химической реакции при изменении температуры на 10 °С? На основании имеющихся данных рассчитайте:

- 1) Во сколько раз быстрее железо растворяется при 40 °С, чем при 30 °С;
- 2) За какое время данный образец железа растворится при 10 °С.

#### Вариант решения

1. Реакция растворения железа в серной кислоте



2. Известно, что при изменении температуры на **каждые** 10 градусов скорость реакции изменяется в  $\gamma$  раз (обычно 2-4 раза) – это правило Вант-Гоффа. Важно понимать, что при повышении/понижении температуры на 20 градусов скорость возрастёт/уменьшится в  $\gamma^2$  раз, на 30 градусов – в  $\gamma^3$  раз, и так далее.

3. Скорость химической реакции определяют как изменение концентрации за единицу времени. В случае растворения железа её можно рассчитать как количество образовавшегося  $\text{FeCl}_2$  в единице объёма образовавшегося раствора:

$$v = \frac{\Delta C(\text{FeCl}_2)}{\Delta t}$$

Примем, что в реакциях при 30 °С, 40 °С и 10 °С образуется одинаковый объём раствора, и учтём, что исходное количество вещества железа, а, следовательно, и количество вещества  $\text{FeCl}_2$  одинаковы. Значит, отношение скоростей химической реакции обратно пропорционально отношению времени полного протекания реакции.

При повышении температуры на 10 градусов с 30 °С до 40 °С скорость изменится в

$$\frac{v(40\text{ }^\circ\text{C})}{v(30\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{\Delta t(30\text{ }^\circ\text{C})}{\Delta t(40\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ раза}$$

4. При понижении температуры на каждые 10 градусов скорость реакции, идущей в данной системе, уменьшится в  $\gamma = 2,4$  раза.

Следовательно, при понижении температуры с 30 °С до 10 °С скорость реакции уменьшится в  $\gamma^2 = 2,4^2 = 5,76$  раз. Значит, время на реакцию при 10 °С в 5,76 раз больше:  $\Delta t(10\text{ }^\circ\text{C}) = 12 \text{ минут} \cdot 5,76 = 69,12 \text{ минут}$  или 1,15 часа.

#### Рекомендации к оцениванию

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Записано уравнение реакции Fe с HCl  | 1 балл  |
| 2. Указано, что при повышении температуры на 10 градусов скорость реакции будет увеличиваться в 2-4 раза  | 1 балл  |
| 3. Верно рассчитано, во сколько раз увеличится скорость реакции при изменении температуры с 30 °С до 40 °С, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>• прямо или косвенно учтена обратная пропорциональность скорости и времени – 0,5 балла</li><li>• значение <math>\gamma</math> (независимо от наличия выкладок) – 0,5 балла</li></ul> | 1 балл  |
| 4. Верно рассчитано, за какое время пройдёт реакция при 10 °С, в том числе: <ul style="list-style-type: none"><li>• прямо или косвенно учтено, что скорость реакции уменьшится в</li></ul>  | 2 балла |

$\gamma^2$  раз по сравнению с 30 °С или в  $\gamma^3$  раз по сравнению с 40 °С – 0,5 балла

- указано значение, что реакция при 10 °С идёт в 5,76 раз медленнее, чем при 30 °С, либо в 13,824 раз медленнее, чем при 40 °С – 0,5 балла
- время протекания реакции при 10 °С в минутах или секундах (независимо от наличия выкладок) – 1 балл

**ИТОГО: 5 баллов**

### Задача 5. Вариант 1

Вещество **X** является хлорпроизводным алкана и содержит 72,2% хлора по массе. В промышленности **X** получают следующим образом: сначала ненасыщенный углеводород **A** реагирует с хлором при 500 °С с образованием вещества **B**, а затем вещество **B** обрабатывают раствором хлора в тетрахлорметане. Известно, что **A**, **B** и **X** содержат одинаковое число атомов углерода.

- 1) Выведите молекулярную формулу вещества **X** и приведите Ваши расчёты.
- 2) Приведите структурные формулы веществ **A**, **B**, **X** и укажите названия соединений.
- 3) Составьте уравнения описанных в условии реакций. Используйте структурные формулы органических веществ.

#### Вариант решения

1. Пусть хлоралкан **X** содержит  $x$  атомов хлора. Запишем его формулу в виде  $C_nH_{2n+2-x}Cl_x$ . Определим молярную массу соединения **X** двумя способами:

$$M(\mathbf{X}) = x \cdot [M(\text{Cl}) / \omega(\text{Cl})] = x \cdot [35,5 / 0,722] = (49,1 \cdot x) \text{ г/моль } (*) - \text{ по массовой доле.}$$

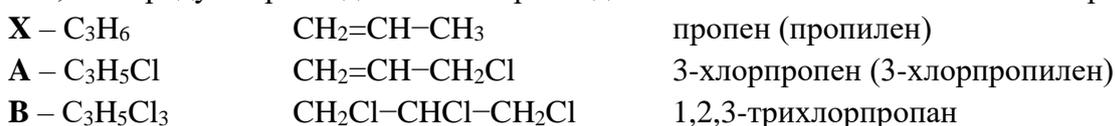
$$M(\mathbf{X}) = M(C_nH_{2n+2-x}Cl_x) = (14n + 2 + 34,5x) - \text{ по формуле.}$$

Приравниваем две молярные массы и решаем полученное уравнение относительно  $n$ , считая  $x$  параметром. При отборе допустимых значений параметра  $x$  учтём, что при наличии хлора  $M(\mathbf{X})$  должна быть либо целым числом, либо кратной 0,5.

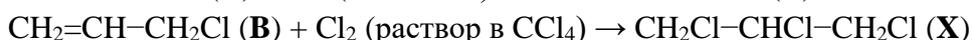
Если  $x = 3$ , то  $\mathbf{X} = C_nH_{2n-1}Cl_3$ . Имеем уравнение  $M(C_nH_{2n-1}Cl_3) = (14n + 105,5) = 147,3$  г/моль. Отсюда следует:  $14n = 42$ ,  $n = 3$ . Получаем молекулярную формулу  $C_3H_5Cl_3$ . Большее значение  $x$ , кратное 3, не подходит.

2. Реакция с  $Cl_2$  при 500 °С – это реакция замещения атомов Н при  $\alpha$ -С в алкенах (по Львову-Шешукову). Реакция с  $Cl_2$  в  $CCl_4$  – это реакция присоединения хлора по кратной связи к непредельным углеводородам.

Значит, **A** – алкен с 3 атомами углерода, **B** – алкен с 3 атомами углерода и атомом Cl при  $\alpha$ -С, **X** – продукт присоединения хлора по двойной связи в алкене **B**. Таким образом:



3. Уравнения протекающих реакций



#### Рекомендации к оцениванию

- |   |                |
|---|----------------|
| 1. Прямо или косвенно учтено предположение, что в хлоралкане <b>X</b> может содержаться несколько ( $x$ ) атомов хлора  | 0,5 балла      |
| 2. Определена подходящая молярная масса соединения <b>X</b> и приведены выкладки (допускается либо общее уравнение с параметром $x$ и его подбором, либо отдельное частное уравнение (*) в случае $x = 3$ ) <ul style="list-style-type: none"><li>• без расчётов – минус 0,25 балла</li></ul> | 0,5 балла      |
| 3. Записана молекулярная формула <b>X</b>   | 1 балл         |
| 4. Предложены верные молекулярные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b>   | 2 · 0,25 балла |
| 5. Приведены верные структурные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b>  | 3 · 0,25 балла |
| 6. Указаны названия веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b> по систематической номенклатуре  | 3 · 0,25 балла |
| 7. Верно написаны уравнения реакций, связывающих <b>A</b> с <b>B</b> и <b>B</b> с <b>X</b>  | 2 · 0,5 балла  |

(допускается без указания условий их проведения)

**ИТОГО: | 5 баллов**

### Задача 5. Вариант 2

Вещество **X** является хлорпроизводным алкана и содержит 65,94% хлора по массе. В промышленности **X** получают следующим образом: сначала ненасыщенный разветвлённый углеводород **A** реагирует с хлором при 500 °С с образованием вещества **B**, а затем вещество **B** обрабатывают раствором хлора в тетрахлорметане. Известно, что **A**, **B** и **X** содержат одинаковое число атомов углерода.

- 1) Выведите молекулярную формулу вещества **X** и приведите Ваши расчёты.
- 2) Приведите структурные формулы веществ **A**, **B**, **X** и укажите названия соединений.
- 3) Составьте уравнения описанных в условии реакций. Используйте структурные формулы органических веществ.

#### Вариант решения

1. Пусть хлоралкан **X** содержит  $x$  атомов хлора. Запишем его формулу в виде  $C_nH_{2n+2-x}Cl_x$ . Определим молярную массу соединения **X** двумя способами:

$$M(\mathbf{X}) = x \cdot [M(\text{Cl}) / \omega(\text{Cl})] = x \cdot [35,5 / 0,6594] = (53,84 \cdot x) \text{ г/моль } (*) - \text{ по массовой доле.}$$

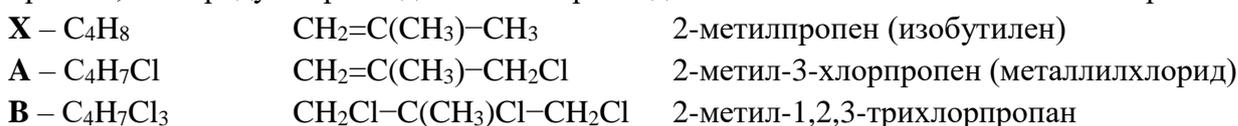
$$M(\mathbf{X}) = M(C_nH_{2n+2-x}Cl_x) = (14n + 2 + 34,5x) - \text{ по формуле.}$$

Приравниваем две молярные массы и решаем полученное уравнение относительно  $n$ , считая  $x$  параметром. При отборе допустимых значений параметра  $x$  учтём, что при наличии хлора  $M(\mathbf{X})$  должна быть либо целым числом, либо кратной 0,5.

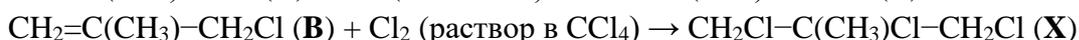
Если  $x = 3$ , то  $\mathbf{X} = C_nH_{2n-1}Cl_3$ . Имеем уравнение  $M(C_nH_{2n-1}Cl_3) = (14n + 105,5) = 161,5$  г/моль. Отсюда следует:  $14n = 56$ ,  $n = 4$ . Получаем молекулярную формулу  $C_4H_7Cl_3$ . Большее значение  $x$ , кратное 3, не подходит.

2. Реакция с  $Cl_2$  при 500 °С – это реакция замещения атомов Н при  $\alpha$ -С в алкенах (по Львову-Шешукову). Реакция с  $Cl_2$  в  $CCl_4$  – это реакция присоединения хлора по кратной связи к непредельным углеводородам.

Значит, **A** – алкен с 4 атомами углерода, 3 из них в главной цепи, **B** – алкен с атомом Cl при  $\alpha$ -С, **X** – продукт присоединения хлора по двойной связи в алкене **B**. Таким образом:



3. Уравнения протекающих реакций



#### Рекомендации к оцениванию

- |   |                |
|---|----------------|
| 1. Прямо или косвенно учтено предположение, что в хлоралкане <b>X</b> может содержаться несколько ( $x$ ) атомов хлора  | 0,5 балла      |
| 2. Определена подходящая молярная масса соединения <b>X</b> и приведены выкладки (допускается либо общее уравнение с параметром $x$ и его подбором, либо отдельное частное уравнение (*) в случае $x = 3$ ) <ul style="list-style-type: none"><li>• без расчётов – минус 0,25 балла</li></ul> | 0,5 балла      |
| 3. Записана молекулярная формула <b>X</b>   | 1 балл         |
| 4. Предложены верные молекулярные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b>   | 2 · 0,25 балла |
| 5. Приведены верные структурные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b>  | 3 · 0,25 балла |
| 6. Указаны названия веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b> по систематической номенклатуре  | 3 · 0,25 балла |
| 7. Верно написаны уравнения реакций, связывающих <b>A</b> с <b>B</b> и <b>B</b> с <b>X</b>  | 2 · 0,5 балла  |

(допускается без указания условий их проведения)

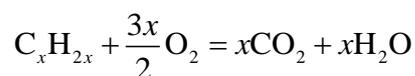
**ИТОГО:** | **5 баллов**

### Задача 6. Вариант 1

Смесь углеводородов **A** и **B**, являющихся изомерами положения кратной связи, обработали  $\text{HBr}$ , при этом получили единственное бромпроизводное **C**. Обработка соединения **C** спиртовым раствором щёлочи приводит к образованию углеводорода **A**. При обработке исходной смеси углеводородов  $\text{HBr}$  в присутствии перекиси образуется смесь бромалканов **D** и **E** соответственно, которые реагируют со спиртовым раствором щёлочи с образованием смеси углеводородов **A** и **B**. Известно, что при сжигании 11,2 л углеводорода **A** образуется 67,2 л  $\text{CO}_2$  (н.у.) и 54 г воды. Приведите структурные формулы соединений **A** – **E**, назовите их по номенклатуре ИЮПАК.

#### Вариант решения

1. Установим брутто-формулу изомерных углеводородов **A** и **B**, используя приведенные в условии данные. Запишем реакцию горения углеводородов **A** и **B**, учитывая то, что они являются алкенами:



Переведем соответствующие объемы газов и массу воды в количества вещества:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = 0,5 \text{ моль}; \quad n(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль}; \quad n(\text{H}_2\text{O}) = 3 \text{ моль}$$

Составим отношения количеств веществ по коэффициентам:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = n(\text{CO}_2) / x = n(\text{H}_2\text{O}) / x$$

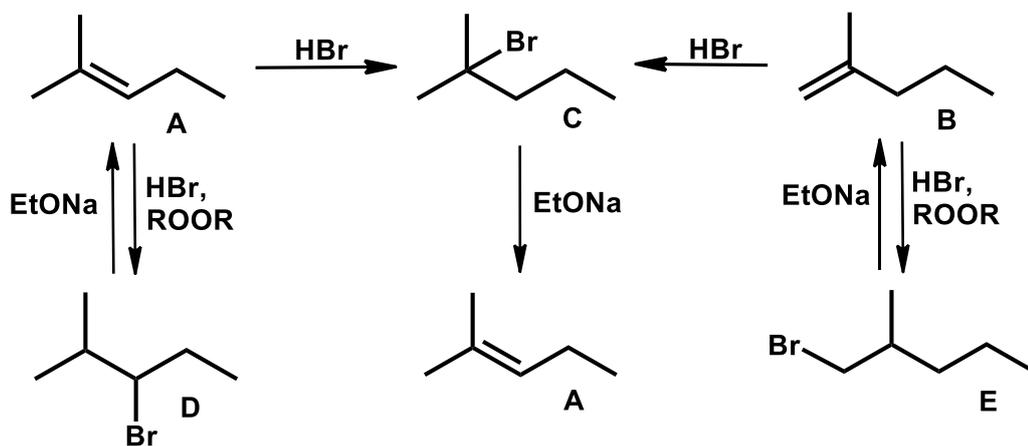
$$x = n(\text{CO}_2) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = n(\text{H}_2\text{O}) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}); \quad x = 3 \text{ моль} / 0,5 \text{ моль} = 6,$$

откуда получим, что  $x = 6$  и брутто-формула исходных углеводородов –  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ . Следовательно, **A** и **B** – изомеры гексена.

2. Изобразим все возможные структурные изомеры гексена (циклоалканы не учитываем) и для каждого из них найдем все изомеры, которые различались бы положением кратной связи.

Для удобства, эти изомеры можно разделить на 5 групп: изомеры гексена (3 структуры), 2-метилпентена (4 структуры), 3-метилпентена (3 структуры), 2,2-диметилбутена (1 структура) и 2,3-диметилбутена (2 структуры). Записывая упомянутые в условии реакции попарно для соединений из каждой группы, нетрудно прийти к выводу, что под условие задачи подходят лишь 2-метилпент-2-ен и 2-метилпент-1-ен.

- Здесь электрофильное присоединение бромоводородной кислоты к алкенам проходит по правилу Марковникова с образованием галогеналканов.
- Их дегидробромирование в присутствии, например, этилата натрия приводит к единственному более замещенному алкену из нескольких теоретически возможных.
- Присоединение бромоводородной кислоты в присутствии перекисных соединений протекает по механизму радикального присоединения против правила Марковникова и приводит к образованию т. н. «антимарковниковского» продукта, что известно, как эффект Хараши (см. схему).



Названия соединений **A – E** по заместительной номенклатуре ИЮПАК:

**A** – 2-метилпент-2-ен (допускается 2-метилпентен-2);

**B** – 2-метилпент-1-ен (допускается 2-метилпентен-1);

**C** – 2-бром-2-метилпентан;

**D** – 3-бром-2-метилпентан;

**E** – 1-бром-2-метилпентан.

#### Рекомендации к оцениванию

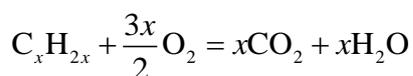
- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. Установление брутто-формулы $C_6H_{12}$ исходных углеводородов <b>A</b> и <b>B</b> | 1 балл          |
| 2. Установление структур соединений <b>A – E</b> по 0,6 балла                         | 3 балла         |
| 3. Названия соединений <b>A – E</b> по 0,2 балла                                      | 1 балл          |
| <b>ИТОГО:</b>   | <b>5 баллов</b> |

### Задача 6. Вариант 2

Смесь углеводородов **A** и **B**, являющихся изомерами положения кратной связи, обработали  $\text{HBr}$ , при этом получили смесь бромпроизводных **C** и **D**. Обработка соединений **C** и **D** спиртовым раствором щёлочи приводит к образованию углеводорода **A**. При обработке исходной смеси углеводородов  $\text{HBr}$  в присутствии перекиси образуется смесь бромалканов **C** и **E**, которые реагируют со спиртовым раствором щёлочи с образованием смеси углеводородов **A** и **B**. Известно, что при сжигании 11,2 л углеводорода **B** образуется 67,2 л  $\text{CO}_2$  (н.у.) и 54 г воды. Приведите структурные формулы соединений **A** – **E**, назовите их по номенклатуре ИЮПАК.

#### Вариант решения

1. Установим брутто-формулу изомерных углеводородов **A** и **B**, используя приведенные в условии данные. Запишем реакцию горения углеводородов **A** и **B**, учитывая то, что они являются алкенами:



Переведем соответствующие объемы газов и массу воды в количества вещества:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = 0,5 \text{ моль}; \quad n(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль}; \quad n(\text{H}_2\text{O}) = 3 \text{ моль}$$

Составим отношения количеств веществ по коэффициентам:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = n(\text{CO}_2) / x = n(\text{H}_2\text{O}) / x$$

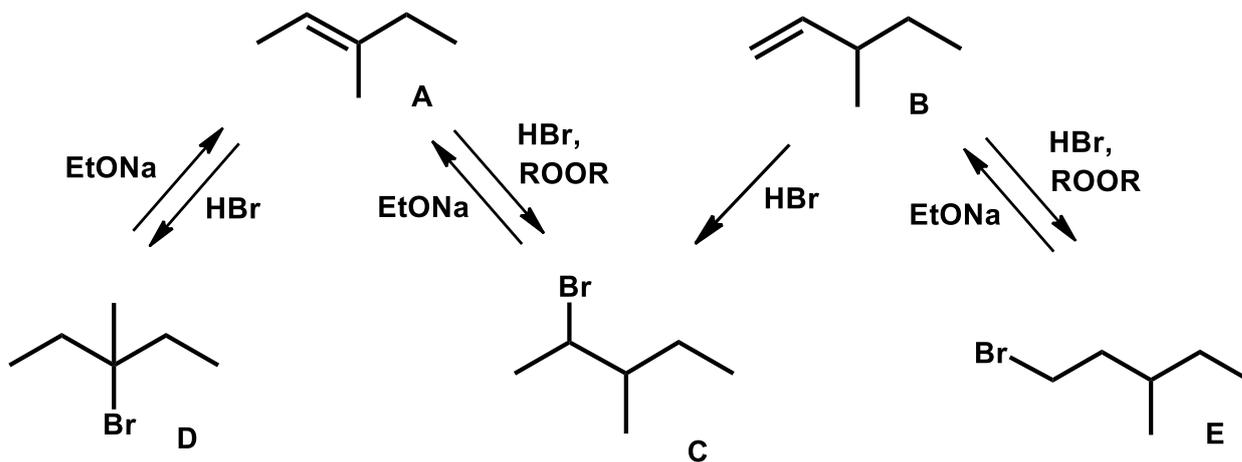
$$x = n(\text{CO}_2) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = n(\text{H}_2\text{O}) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}); \quad x = 3 \text{ моль} / 0,5 \text{ моль} = 6,$$

откуда получим, что  $x = 6$  и брутто-формула исходных углеводородов –  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ . Следовательно, **A** и **B** – изомеры гексена.

2. Изобразим все возможные структурные изомеры гексена (циклоалканы не учитываем) и для каждого из них найдем все изомеры, которые различались бы положением кратной связи.

Для удобства, эти изомеры можно разделить на 5 групп: изомеры гексена (3 структуры), 2-метилпентена (4 структуры), 3-метилпентена (3 структуры), 2,2-диметилбутена (1 структура) и 2,3-диметилбутена (2 структуры). Записывая упомянутые в условии реакции попарно для соединений из каждой группы, нетрудно прийти к выводу, что под условие задачи подходят лишь 3-метилпент-1-ен и 3-метилпент-2-ен.

- Здесь электрофильное присоединение бромоводородной кислоты к алкенам проходит по правилу Марковникова с образованием галогеналканов.
- Их дегидробромирование, например, в присутствии этилата натрия приводит к единственному более замещенному алкену из нескольких теоретически возможных.
- Присоединение бромоводородной кислоты в присутствии перекисных соединений протекает по механизму радикального присоединения против правила Марковникова и приводит к образованию т. н. «антимарковниковского» продукта, что известно, как эффект Хараши (см. схему).



Названия соединений **A** – **E** по заместительной номенклатуре ИЮПАК:

**A** – 3-метилпент-2-ен (допускается 3-метилпентен-2);

**B** – 3-метилпент-1-ен (допускается 3-метилпентен-1);

**C** – 2-бром-3-метилпентан;

**D** – 3-бром-3-метилпентан;

**E** – 1-бром-3-метилпентан.

#### Рекомендации к оцениванию

1. Установление брутто-формулы $\text{C}_6\text{H}_{12}$ исходных углеводородов <b>A</b> и <b>B</b>	1 балл
2. Установление структур соединений <b>A</b> – <b>E</b> по 0,6 балла	3 балла
3. Названия соединений <b>A</b> – <b>E</b> по 0,2 балла	1 балл
<b>ИТОГО:</b>	<b>5 баллов</b>

В условии задачи 10-6, вариант 2, имелась неточность, в результате которой задача имела лишь частичное решения. Чтобы привести задачу в полностью решаемый вид нужно либо убрать слово «соответственно» в первом предложении, либо заменить в третьем предложении обозначение **C** на обозначение **D**. Поэтому критерии оценивания были скорректированы следующим образом:

1. Установлена брутто-формула  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  – 1 балл
2. В качестве исходных алкенов выбраны 3-метилпент-2-ен и 3-метилпент-1-ен – 1,2 балла (независимо от того, какими буквами они обозначены)
3. Приведены структурные формулы продуктов присоединения  $\text{HBr}$  по правилу Марковникова к 3-метилпент-2-ену и 3-метилпент-1-ену – 3-бром-3-метилпентан и 2-бром-3-метилпентан (независимо от того, какими буквами они обозначены) – 1,2 балла (Если записаны структурные формулы двух любых алкенов состава  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  – изомеров положения двойной связи, и двух соответствующих продуктов присоединения  $\text{HBr}$  по правилу Марковникова (не отвечающих тем, что указаны в решении, но с реакциями или пояснениями), то за пункты 2 и 3 в сумме ставится 1 балл)
4. Приведены структурные формулы продуктов присоединения  $\text{HBr}$  в присутствии перекиси (против правила Марковникова) к 3-метилпент-2-ену и 3-метилпент-1-ену – 2-бром-3-метилпентан и 1-бром-3-метилпентан (независимо от того, какими буквами они обозначены) или представлены рассуждения о присоединении  $\text{HBr}$  к алкенам против правила Марковникова (даже если продукты реакции не указаны) – 0,6 балла
5. Верные названия двух предложенных алкенов и трёх бромидов – 1 балл (по 0,2 балла за каждое)