

**10 класс**

**I вариант**

**№ 1**

1) Установим количество реагирующих веществ:

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

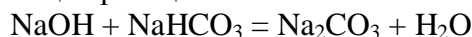
36

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

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

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

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:

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

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

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

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:

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

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

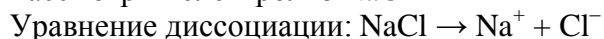
### Рекомендации к оцениванию

1. Определены исходные количества веществ  $\text{NaOH}$  и  $\text{NaHCO}_3$  по 0,5 балла 1 балл
2. Рассчитаны массы  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в конечном растворе 2 балла
3. Рассчитаны массовые доли  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в конечном растворе 2 балла

**ИТОГО: 5 баллов**

### № 2

1) Рассмотрим электролиз  $\text{NaCl}$



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

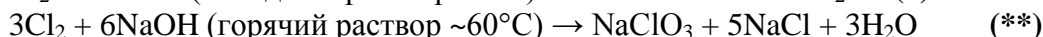
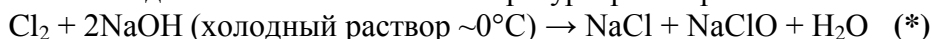
На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$

Общее уравнение электролиза (участвует  $2\text{e}$ ):  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2\uparrow$  (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  $\text{NaCl}$  без разделения катодного и анодного пространства хлор поглотится полностью, и выделившийся газ объёмом 200 мл – только водород  $\text{H}_2$ .

2) Рассмотрим электролиз  $\text{CuCl}_2$



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

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

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

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

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,  $H_2$  в реакции (1) и  $Cl_2$  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:

$$n(H_2 + Cl_2)_{p-я(1)} = 0,200 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,00893 \text{ моль.}$$

Количество вещества водорода и хлора:

$$n(H_2)_{p-я(1)} = n(Cl_2)_{p-я(1)} = 0,00893 \text{ моль} / 2 = 0,00446 \text{ моль.}$$

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

$$n_{\text{вступило}}(NaCl) = 2 n(H_2)_{p-я(1)} = 0,00893 \text{ моль}$$

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

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):

$$n(Cl_2)_{p-я(2)} = n(Cl_2)_{p-я(1)} = 0,00446 \text{ моль}$$

$$V(Cl_2)_{p-я(2)} = 22,4 \cdot 0,00446 = 0,1 \text{ л} = 100 \text{ мл}$$

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:

$$n(H_2)_{p-я(1)} = 0,200 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,00893 \text{ моль.}$$

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

$$n(Cl_2)_{p-я(2)} = n(H_2)_{p-я(1)} = 0,00893 \text{ моль}$$

$$V(Cl_2)_{p-я(2)} = 22,4 \cdot 0,00893 = 0,2 \text{ л} = 200 \text{ мл}$$

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

- Верно определён состав газовой смеси в реакции (1) и (2), **хотя бы в 2 балла одном из случаев**
- Верно вычислен объём Cl<sub>2</sub>, выделившегося в реакции (2), **хотя бы в 3 балла одном предположении** о разделённых катодном и анодном пространстве

**ИТОГО: 5 баллов**

### № 3

- 1) Купоросами называют кристаллогидраты сульфатов некоторых металлов в степени окисления +2. Обозначим неизвестный металл за M, тогда формула пентагидрата соли X примет вид:  $MSO_4 \cdot 5H_2O$ .

Молярная масса соли X в общем виде:  $M(X) = M(M) + 186$

Количество соли X в общем виде:  $n(X) = 5 / (M(M) + 186)$

Единственный газ, который может выделиться при реакции купороса и карбоната натрия – углекислый газ. Считая его идеальным газом, определим число моль CO<sub>2</sub> по уравнению Менделеева-Клапейрона:

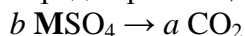
$$n(CO_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 240 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = 0,01 \text{ моль,}$$

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  $\mathbf{X}$  равен  $b$ , перед  $\text{CO}_2$  равен  $a$  (где  $a$  и  $b$  – целые числа). Схема реакции:



Отсюда следует связь количеств:

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

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

Единственный разумный вариант получается при  $2a = b$ :  $M(\mathbf{M}) = 64$  г/моль – это медь.

Тогда  $\mathbf{X}$  – 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:  
 $2\text{CuSO}_4 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$

#### Рекомендации к оцениванию

1. Составлено и верно рассчитано соотношение количеств веществ кристаллогидрата и  $\text{CO}_2$  2 балла
2. Определено, что металл – это Cu, а соль – это  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (независимо от наличия выкладок) 2 балла
3. Дано верное название минерала 1 балл

**ИТОГО: 5 баллов**

#### № 4

- 1) Реакция растворения железа в серной кислоте  
 $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$
- 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

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

- 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:  $\Delta t(50^\circ\text{C}) = 6 \text{ минут} / 11,09 = 0,541$  минуты или 32,5 секунды.

**Рекомендации к оцениванию**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Записано уравнение реакции Fe с H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 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 | 1 балл  |
| 4. Верно рассчитано, за какое время пройдет реакция при 50 °С  | 2 балла |
| <b>ИТОГО: 5 баллов</b>   |         |

**№ 5**

- 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:

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

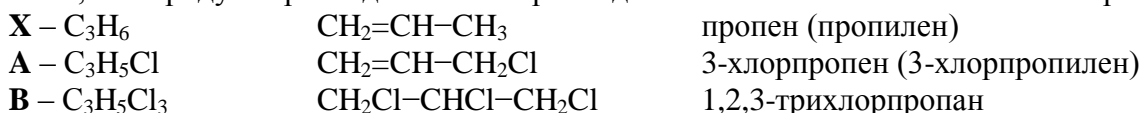
$$M(\mathbf{X}) = M(C_nH_{2n+2-x}Cl_x) = (14n + 2 + 34,5x) - \text{ по формуле.}$$

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.

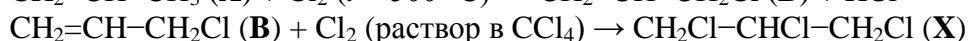
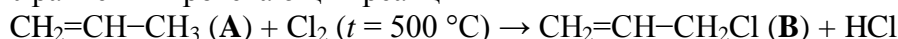
Если  $x = 3$ , то  $\mathbf{X} = C_nH_{2n-1}Cl_3$ . Имеем уравнение  $M(C_nH_{2n-1}Cl_3) = (14n + 105,5) = 147,3$  г/моль. Отсюда следует:  $14n = 42$ ,  $n = 3$ . Получаем молекулярную формулу  $C_3H_5Cl_3$ . Большее значение  $x$ , кратное 3, не подходит.

- 2) Реакция с Cl<sub>2</sub> при 500 °С – это реакция замещения атомов H при α-С в алкенах (по Львову-Шешукову). Реакция с Cl<sub>2</sub> в CCl<sub>4</sub> – 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 α-С, **X** – продукт присоединения хлора по двойной связи в алкене **B**. Таким образом:



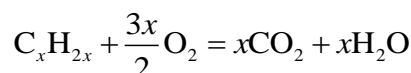
- 3) Уравнения протекающих реакций

**Рекомендации к оцениванию**

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. Установлено, что в хлоралкане <b>X</b> может содержаться несколько ( $x$ ) атомов хлора | 0,5 балла     |
| 2. Вычислена молярная масса соединения <b>X</b>  | 0,5 балла     |
| 3. Записана молекулярная формула <b>X</b>  | 1 балл        |
| 4. Молекулярные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b>  | по 0.25 балла |
| 5. Структурные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b>                              | по 0.25 балла |
| 6. Названия веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b> по номенклатуре ИУРАС                   | по 0.25 балла |
| 7. Уравнения реакций, связывающих <b>A</b> с <b>B</b> и <b>B</b> с <b>X</b>                | по 0.5 балла  |
| <b>ИТОГО: 5 баллов</b>   |               |

**№ 6**

- 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:

$$n(C_xH_{2x}) = 0,5 \text{ моль}; \quad n(CO_2) = 3 \text{ моль}; \quad n(H_2O) = 3 \text{ моль}$$

Составим отношения количеств веществ по коэффициентам:

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

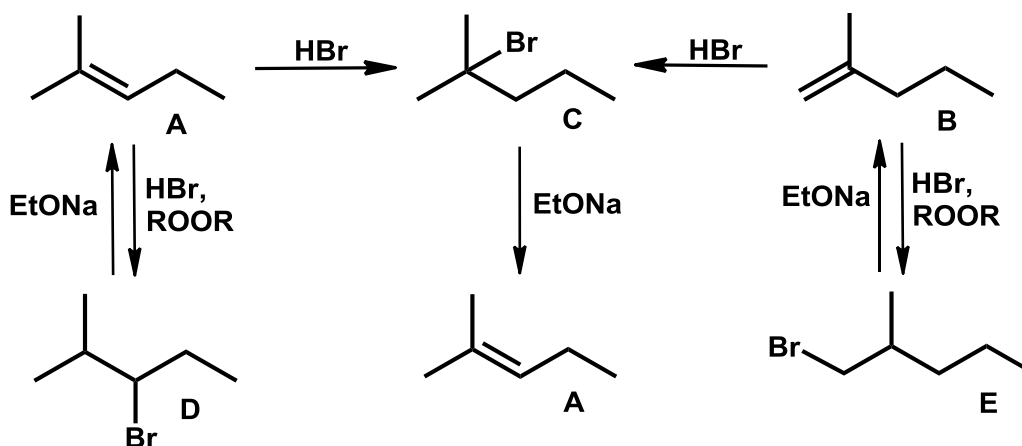
$$x = n(\text{CO}_2) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = n(\text{H}_2\text{O}) / n(\text{C}_x\text{H}_{2x}); \quad x = 3 \text{ моль} / 0,5 \text{ моль} = 6,$$

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).



- 3) 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 $\text{C}_6\text{H}_{12}$ 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  |

**ИТОГО: 5 баллов**

#### II вариант

##### № 1

- 1) Установим количество реагирующих веществ:

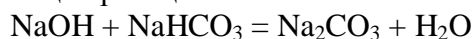
$$n(\text{NaOH}) = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ моль};$$

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

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

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

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:

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

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

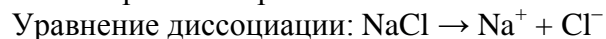
### Рекомендации к оцениванию

1. Определены исходные количества веществ NaOH и NaHCO<sub>3</sub> по 0,5 балла 1 балл
2. Рассчитаны массы NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в конечном растворе 2 балла
3. Рассчитаны массовые доли NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в конечном растворе 2 балла

**ИТОГО: 5 баллов**

### № 2

1) Рассмотрим электролиз NaCl



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

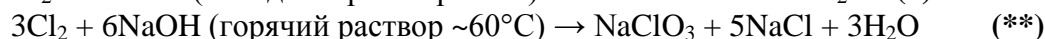
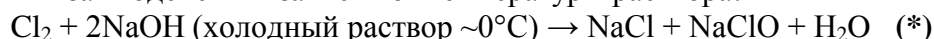
На аноде (+) будет протекать следующая реакция:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$

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.

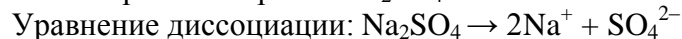
а) Если считать, что катодное и анодное пространство полностью разделены (U-образная трубка), то протекает реакция (1), выделяется водород и хлор общим объёмом 200 мл, т.е. по 100 мл на каждый газ.

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 H<sub>2</sub>.

2) Рассмотрим электролиз Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



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:  $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

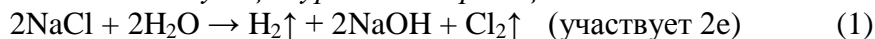
Общее уравнение электролиза (участвует 4e):  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$  (2)

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:

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

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:



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

При электролизе раствора NaCl суммарное количество вещества выделившихся газов:

$$n(\text{H}_2 + \text{Cl}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,300 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,0134 \text{ моль}$$

Количество водорода и хлора:

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = n(\text{Cl}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,0134 \text{ моль} / 2 = 0,0067 \text{ моль}$$

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

$$n_{\text{вступило}}(\text{NaCl}) = 2 n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,0134 \text{ моль}$$

$$n_{\text{было}}(\text{NaCl}) = 50 \text{ г} / 58,5 \text{ г/моль} = 0,8547 \text{ моль.}$$

При электролизе раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: количество вещества водорода, а значит, и объём, такие же, как в случае NaCl (допускается пользоваться законом объёмных отношений):

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (2')}} = n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,0067 \text{ моль}$$

Кислорода в реакции (2') выделится в два раза меньше, чем водорода:

$$n(\text{O}_2)_{\text{р-я (2')}} = n(\text{H}_2)_{\text{р-я (2')}} / 2 = 0,0067 \text{ моль} / 2 = 0,0034 \text{ моль}$$

Следовательно, общий объём газовой смеси при электролизе раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составляет 3/4 от объёма газовой смеси при электролизе раствора NaCl с разделёнными катодным и анодным пространствами (допускается пользоваться законом объёмных отношений):

$$V(\text{H}_2 \text{ и } \text{O}_2)_{\text{р-я (2')}} = 22,4 \cdot (0,0067 + 0,0034) = 22,4 \cdot 0,0101 \approx 225 \text{ мл}$$

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

В процессе (1) выделяется только водород:

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,300 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,0134 \text{ моль.}$$

В процессе (2) выделяется такое же количество водорода и в 2 раза меньшее количество кислорода:

$$n(\text{H}_2)_{\text{р-я (2)}} = n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} = 0,0134 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{р-я (2)}} = n(\text{H}_2)_{\text{р-я (1)}} / 2 = 0,0067 \text{ моль}$$

$$V(\text{H}_2 \text{ и } \text{O}_2)_{\text{р-я (2)}} = 22,4 \cdot 0,0201 = 0,45 \text{ л} = 450 \text{ мл}$$

При электролизе раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> выделилось в полтора раза больше газов по объёму, чем при электролизе раствора NaCl без разделённых катодного и анодного пространства.

#### Рекомендации к оцениванию

1. Верно определён состав газовой смеси в реакции (1) и (2), **хотя бы в** 2 балла **одном из случаев**
2. Верно вычислен объём Cl<sub>2</sub>, выделившегося в реакции (2), **хотя бы в** 3 балла **одном предположении** о разделённых катодном и анодном пространстве

**ИТОГО: 5 баллов**

#### № 3

- 1) Купоросами называют кристаллогидраты сульфатов некоторых металлов в степени окисления +2. Обозначим неизвестный металл за М, тогда формула пентагидрата соли X примет вид: MSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O.



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

Количество соли **X** в общем виде:  $n(\mathbf{X}) = 4 / (M(\mathbf{M}) + 186)$

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:

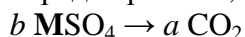
$$n(\text{CO}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 185 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 283 \text{ К}} = 0,008 \text{ моль},$$

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:

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

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

Единственный разумный вариант получается при  $2a = b$ :  $M(\mathbf{M}) = 64 \text{ г/моль}$  – 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:  
 $2\text{CuSO}_4 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$

#### Рекомендации к оцениванию

1. Составлено и верно рассчитано соотношение количеств веществ кристаллогидрата и  $\text{CO}_2$  2 балла
  2. Определено, что металл – это Cu, а соль – это  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (независимо от наличия выкладок) 2 балла
  3. Дано верное название минерала 1 балл
- ИТОГО: 5 баллов**

#### № 4

- 1) Реакция растворения железа в серной кислоте  
 $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$
- 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  $\frac{v(40\text{ }^\circ\text{C})}{v(30\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{\Delta t(30\text{ }^\circ\text{C})}{\Delta t(40\text{ }^\circ\text{C})} = \frac{12}{5} = 2,4$  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 | 1 балл  |
| 4. Верно рассчитано, за какое время пройдёт реакция при 10 °С  | 2 балла |
| <b>ИТОГО: 5 баллов</b>   |         |

#### № 5

- 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:

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

$M(\mathbf{X}) = M(C_nH_{2n+2-x}Cl_x) = (14n + 2 + 34,5x)$  – 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  $M(C_nH_{2n-1}Cl_3) = (14n + 105,5) = 161,5 \text{ г/моль}$ . 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 H при  $\alpha$ -C 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  $\alpha$ -C, **X** – продукт присоединения хлора по двойной связи в алкене **B**. Таким образом:

<b>X</b> – $C_4H_8$	$CH_2=C(CH_3)-CH_3$	2-метилпропен
<b>A</b> – $C_4H_7Cl$	$CH_2=C(CH_3)-CH_2Cl$	2-метил-3-хлорпропен
<b>B</b> – $C_4H_7Cl_3$	$CH_2Cl-C(CH_3)Cl-CH_2Cl$	2-метил-1,2,3-трихлорпропан

- 3) Уравнения протекающих реакций

$CH_2=C(CH_3)-CH_3$  (**A**) +  $Cl_2$  ( $t = 500\text{ }^\circ\text{C}$ )  $\rightarrow$   $CH_2=C(CH_3)-CH_2Cl$  (**B**) + HCl

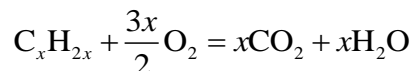
$CH_2=C(CH_3)-CH_2Cl$  (**B**) +  $Cl_2$  (раствор в  $CCl_4$ )  $\rightarrow$   $CH_2Cl-C(CH_3)Cl-CH_2Cl$  (**X**)

#### Рекомендации к оцениванию

- |  |            |
|--|------------|
| 1. Установлено, что в хлоралкане <b>X</b> может содержаться несколько ( $x$ ) атомов хлора | 0,5 балла  |
| 2. Вычислена молярная масса соединения <b>X</b>  | 0,5 балла  |
| 3. Записана молекулярная формула <b>X</b>  | 1 балл     |
| 4. Молекулярные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b>  | 0,25 балла |
| 5. Структурные формулы веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b>                              | 0,75 балла |
| 6. Названия веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>X</b> по номенклатуре ИУПАС                   | 0,75 балла |
| 7. Уравнения реакций, связывающих <b>A</b> с <b>B</b> и <b>B</b> с <b>X</b>                | 1 балл     |
| <b>ИТОГО: 5 баллов</b>   |            |

№ 6

- 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:

$$n(C_xH_{2x}) = 0,5 \text{ моль}; \quad n(CO_2) = 3 \text{ моль}; \quad n(H_2O) = 3 \text{ моль}$$

Составим отношения количеств веществ по коэффициентам:

$$n(C_xH_{2x}) = n(CO_2) / x = n(H_2O) / x$$

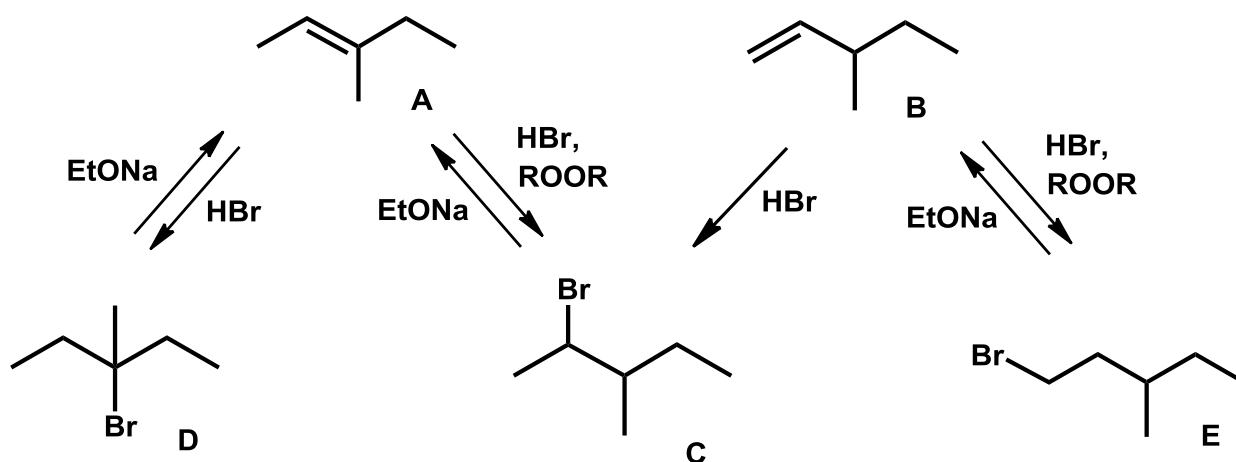
$$x = n(CO_2) / n(C_xH_{2x}) = n(H_2O) / n(C_xH_{2x}); \quad x = 3 \text{ моль} / 0,5 \text{ моль} = 6,$$

откуда получим, что  $x = 6$  и брутто-формула исходных углеводородов –  $C_6H_{12}$ . 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).



- 3) 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 $C_6H_{12}$ исходных углеводородов <b>А</b> и <b>В</b> | 1 балл          |
| 2. Установление структур соединений <b>А–Е</b> по 0,6 балла                           | 3 балла         |
| 3. Названия соединений <b>А–Е</b> по 0,2 балла  | 1 балл          |
| <b>ИТОГО:</b>   | <b>5 баллов</b> |