

**Министерство образования и науки РТ  
Казанский федеральный университет**

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады  
школьников по химии 2025–2026 гг.  
Решения**

**Авторы задач:** Болматенков Д.Н., Хасаншина Л.И., Ромашова А.М., Мустафин И.И., Зыков С.И., Нуритдинов М.М., Лукаш Т.А. Под редакцией Седова И.А.

## Инструкция для жюри

**Жирным шрифтом** выделены правильные ответы, за которые начисляются баллы, и разбалловка.

Во многих расчетных задачах оцениваются промежуточные шаги. Школьник может решать задачу не так, как в авторском решении, при этом, если он получил верный конечный ответ, решение должно быть оценено полным баллом как за этот ответ, так и за все шаги, ведущие к нему в авторском решении.

В многоступенчатых расчетных задачах за одну чисто арифметическую ошибку, приведшую к численно неверному ответу, суммарный балл за весь расчет не должен снижаться более чем наполовину.

Уравнения реакций с неверными или отсутствующими коэффициентами, как правило, оцениваются в половину от максимального количества баллов, а в тех случаях, когда уравнения без коэффициентов приведены в самом условии, в 0 баллов.

Школьники могут использовать при решении как округленные до целого числа, так и точные (1–3 знака после запятой) атомные массы элементов. В последнем случае ответ может содержать больше значащих цифр, чем приведено в данном решении.

При проверке работ одну и ту же задачу у всех участников должен проверять один человек.

Максимальный балл за каждую задачу различен и указан в конце решения. Максимальный балл за все задачи в 8 классе 67 баллов, в 9 классе 77 баллов, в 10 классе 69 баллов, в 11 классе 72 балла.

## 8 класс

### Задание 1.

1. Последовательно рассчитаем количество гран в 1 аптекарском фунте:

$$N(\text{унций}) = 12$$

$$N(\text{драхм}) = 12 \cdot 8 = 96$$

$$N(\text{скрупул}) = 96 \cdot 3 = 288$$

$$N(\text{гранов}) = 288 \cdot 20 = \mathbf{5760 \text{ (1 балл)}}$$

2. Массу 1 грана можно найти по пропорции:

$$\text{грана}) = (1 \cdot 358.3) / 5760 = \mathbf{0.062 \text{ г (1 балл)}}$$

3. Расчет содержания эфирного масла в порошке:

$$\text{травы}) = m(\text{порошка}) \cdot \omega(\text{травы}) = 20 \cdot 0.4 = 8 \text{ гран}$$

$$\text{эфирного масла}) = m(\text{травы}) \cdot \omega(\text{эфирного масла}) = 8 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0.24 \text{ гран}$$

$$\text{цветов}) = m(\text{порошка}) \cdot \omega(\text{цветов}) = 20 \cdot 0.6 = 12 \text{ гран}$$

$$\text{эфирного масла}) = m(\text{цветов}) \cdot \omega(\text{эфирного масла}) = 12 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 0.6 \text{ гран}$$

$$\text{эфирного масла в порошке}) = 0.24 + 0.6 = 0.84 \text{ гран} = 0.052 \text{ г} = \mathbf{52 \text{ мг (2 балла)}}$$

В порции сока:

$$\text{сока}) = 2 \text{ унции} = 1/6 \text{ аптекарского фунта} = (1/6) \cdot 358.3 = 59.72 \text{ г}$$

$$\text{эфирного масла}) = m(\text{сока}) \cdot \omega(\text{эфирного масла}) = 59.72 \cdot 10^{-2} = 0.572 \text{ г} = \mathbf{572 \text{ мг (2 балла)}}$$

В наливке на основе травы:

$$\text{драхмы}) = 1/96 \text{ аптекарского фунта} = 358.3 / 96 = 3.732 \text{ г}$$

$$\text{эфирного масла}) = m(\text{травы}) \cdot \omega(\text{эфирного масла}) = 3.732 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0.112 \text{ г} = \mathbf{112 \text{ мг (2 балла)}}$$

В наливке на основе цветов:

$$\text{эфирного масла}) = m(\text{цветов}) \cdot \omega(\text{эфирного масла}) = 3.732 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 0.187 = \mathbf{187 \text{ мг (2 балла)}}$$

Порошок	Сок	Наливка на основе травы	Наливка на основе цветов
52 мг	60 мг	112 мг	187 мг

4. Выразим отношение массы меди к молярной массе соединения в общем виде:

$$\frac{M(\text{Cu})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O})} = \frac{65}{64 + 32 + 64 + 18n} = 0.255$$

Решение данного уравнения даёт  $n = 5$ . Формула вещества  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (2 балла)

золотника) =  $1/84$  аптекарского фунта =  $358.3/84 = 4.265$  г  
 $C_{12}H_{22}O_{11}$  в одном порошке) =  $\frac{1}{2} \cdot m(\text{золотника})/4 = 4.265/8 = 0.533$  г  
 $C_{12}H_{22}O_{11}) = m \cdot N_a/M = 0.533 \cdot 6 \cdot 10^{23}/342 = 9.4 \cdot 10^{20}$  (2 балла)

С

$\omega(\text{Cu в } CuSO_4 \cdot 5H_2O) = M(\text{Cu})/M(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 64/250 = 0.256$

$\omega(\text{Cu в одном порошке}) = 0.047/0.58 \cdot 100 = 8.1\%$  (2 балла)

порошка) =  $m(C_{12}H_{22}O_{11}) + m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 0.533 + 0.047 = 0.580$  г

$\omega(\text{Cu в порошке}) = m(\text{Cu})/m(\text{порошка}) \cdot 100\% = 0.047/0.58 \cdot 100 = 8.1\%$  (2 балла)

О в  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) +  $m(\text{O в } C_{12}H_{22}O_{11})$

$\omega(\text{O в } CuSO_4 \cdot 5H_2O) = N(\text{O}) \cdot M(\text{O})/M(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = (4 \cdot 16 + 5 \cdot 16)/250 = 0.576$

$\omega(\text{O в } C_{12}H_{22}O_{11}) = N(\text{O}) \cdot M(\text{O})/M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 11 \cdot 16/342 = 0.515$

О в  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) =  $m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) \cdot \omega(\text{O}) = 0.047 \cdot 0.576 = 0.027$  г

О в  $C_{12}H_{22}O_{11}) = m(C_{12}H_{22}O_{11}) \cdot \omega(\text{O}) = 0.533 \cdot 0.515 = 0.274$  г

0.301 г

$\omega(\text{O}) = 0.301/0.58 \cdot 100 = 51.9\%$  (2 балла)

**Всего максимум 18 баллов**

## Задание 2.

1. Степени окисления кислорода и водорода равны  $-2$  и  $+1$  соответственно. Тогда, обозначив степень окисления серы как  $x$ , для  $H_2SO_4$  можно записать уравнение:

$$2 \cdot (+1) + x + 4 \cdot (-2) = 0$$

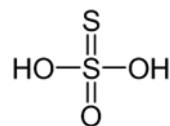
$$x = 2 \cdot 4 - 2 \cdot 1 = +6$$

Аналогично находятся степени окисления серы и хлора в оставшихся соединениях

$H_2SO_4$	$H_2SO_3$	$H_2S$	$H_2S_2O_3$	$KClO_3$	$Ca(ClO)_2$	$NaClO_4$	$Al(ClO_2)_3$
+6	+4	-2	+2	+5	+1	+7	+3

(каждая степень окисления по 0.5 балла)

Структурная формула тиосерной кислоты (1 балл):



В данном соединении сера проявляет валентности 2 и 6 (по 0.5 балла)

3. Структурные формулы кислот (по 1 баллу):

$H_3PO_4$	$H_3PO_3$	$H_4P_2O_7$
$\begin{array}{c} O \\    \\ HO-P(OH)_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\    \\ HO-P(HO)_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\    \\ HO-P(OH)_2-O-P(OH)_2-OH \end{array}$

. Связь Р–Н слабополярная, поэтому она не будет отщепляться при диссоциации и замещаться на атомы металлов. Таким образом, основность кислот – количество связей О–Н (**по 1 баллу**)

– 3

– 2

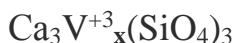
– 4

. Для каждого вещества составляется уравнение, аналогичное п.1, за  $x$  обозначается неизвестный индекс:



$$2 \cdot (+3) + 1 \cdot (+4) + 4 \cdot (-2) + x \cdot (-1) = 0$$

$$x = 6 + 4 - 8 = 2$$



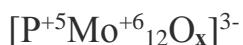
$$3 \cdot (+2) + x \cdot (+3) + 3 \cdot (1 \cdot (+4) + 4 \cdot (-2)) = 0$$

$$x = (-6 - 3 \cdot (-4)) / 3 = 2$$



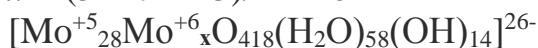
$$10 \cdot (+2) + 4 \cdot (+3) + 2 \cdot (+2) + 5 \cdot (1 \cdot (+4) + 4 \cdot (-2)) + 2 \cdot (2 \cdot (+4) + 7 \cdot (-2)) + x \cdot (-1) = 0$$

$$x = 20 + 12 + 4 - 5 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 4$$



$$1 \cdot (+5) + 12 \cdot (+6) + x \cdot (-2) = -3$$

$$x = (5 + 72 + 3) / 2 = 40$$



$$5 + x \cdot (+6) + 418 \cdot (-2) + 14 \cdot (-1) = -26$$

$$x = (-26 - 140 + 836 + 14) / 6 = 114$$

$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_x$	$\text{Ca}_3\text{V}^{+3}\text{x}(\text{SiO}_4)_3$	$[\text{P}^{+5}\text{Mo}^{+6}\text{O}_x]^{3-}$
2	2	40
$\text{Ca}_{10}\text{Al}_4\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_x$	$[\text{Mo}^{+5}_{28}\text{Mo}^{+6}\text{xO}_{418}(\text{H}_2\text{O})_{58}(\text{OH})_{14}]^{26-}$	
4		114

**(по 1 баллу)**

**Всего максимум 17 баллов**

**Задание 3.**

1. Массу В вычислим исходя из закона сохранения массы:

$$m(\text{A}) + m(\text{B}) = m(\text{C}) + m(\text{D})$$

$$m(\text{B}) = 1067 + 665.4 - 1000 = \mathbf{732.4 \text{ кг (1 балл).}}$$

Поскольку D и В – газы, их объёмы будут соотноситься так же, как стехиометрические коэффициенты, то есть объём D будет составлять  $8/11$  от объёма В, или  $513.4 \cdot 8/11 = \mathbf{373.4 \text{ м}^3 (2 балла)}$ .

2. Для газов В и Д известны и масса, и объём. Последний позволяет найти количество вещества:

$$B = 513.4/22.4 = 22.92 \text{ кмоль}$$

$$D = 373.4/22.4 = 16.67 \text{ кмоль}$$

Знание количества вещества и массы позволяет вычислить молярные массы:

$$B = 732.4/22.92 = 32 \text{ г/моль}$$

$$D = 1067/16.67 = 64 \text{ г/моль}$$

Хотя существует несколько газов с молярной массой 32 г/моль, наиболее разумный вариант для В с учётом контекста задачи – кислород **O<sub>2</sub> (1 балл)**. Тогда D – вероятнее всего, оксид. Среди газообразных оксидов молярной массой 64 обладает **SO<sub>2</sub> (1 балл)**. Речь идёт об обжиге сульфидного минерала.

Количество вещества А вдвое меньше, чем D, то есть 8.34 кмоль.

г/моль

Одна формульная единица А содержит два атома серы (64 г/моль). За их вычетом получаем остаток 56 г/моль, соответствующий железу. Формула А –

Тогда С – оксид железа. Исходя из молярной массы или вида уравнения реакции, можно получить, что это **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 балл)**.

используют для получения серной кислоты **E - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2 балла)**. Широкодоступное жидкое вещество **G - H<sub>2</sub>O (1 балл)**. На промежуточной стадии образуется триоксид серы **F - SO<sub>3</sub> (1 балл)**.



4. Вместо чистого кислорода при обжиге можно использовать его естественную смесь с азотом (**H - N<sub>2</sub> (1 балл)**) – **воздух (1 балл)**. Объёмное содержание кислорода в воздухе составляет 21 %, поэтому объём воздуха составит  $513.4/0.21 = 2445 \text{ м}^3$  **(2 балла)**.

**Всего максимум 18 баллов**

**Задание 4.**

**Z**

**n**

**φ(2 балла)**

$$\pi \cdot 20^3 = 33510 \text{ см}^3 = 33.5 \text{ л (2 балла)}$$

МОЛЬ

**97.5 г (2 балла)**

$$) = 1.5 \cdot 98 = 147 \text{ г}$$

$$\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = 147/0.1 = 1470 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = 1470/1.066 = 1379 \text{ мл (2 балла)}$$

На шарик действует выталкивающая сила, равная  $\rho g V$ , где  $\rho$  – плотность среды (воздуха), равная  $29/22.4 = 1.29$  г/л =  $1.29$  кг/м<sup>3</sup>. Величина силы равна: тяжести  $F = mg$ , где  $m$  – полная масса шарика с грузом, откуда  $m = 0.424/9.8 = 0.043$  кг = 43 г. За вычетом 3 г Н<sub>2</sub> и 3 г оболочки на груз останется  **$m = 37$  г (4 балла)**.

Давление должно измениться на  $(0.3 - 0.03) = 0.27$  атм = 205.2 мм рт. ст. Такое изменение соответствует высоте  $205.2 \cdot 11 = 2257$  м (2 балла)

**Всего максимум 14 баллов**

## 9 класс

### Задание 1.

1. Широкая распространённость минералов, а также выпадение осадка в реакции с ионами серебра свидетельствует о хлоридах. **X – NaCl (галит), Y – KCl (сильвин), Z - KCl·NaCl (сильвинит) (по 1 баллу за формулу и по 1 баллу за название каждого вещества)**

2. В чистом NaCl массовые доли металла и хлорида равны 39 % и 61 %, в KCl – 52 % и 48 %. При их смешении массовая доля металлов будет снижаться, массовая доля хлора – меняться в интервале от одного крайнего значения (61 %) к другому (48 %). Поэтому массовая доля 50 % возможна для калия или хлора.

Рассмотрим случай с калием. Состав соединения с мольной долей хлорида натрия  $a$  можно записать формулой  $(\text{NaCl})_a(\text{KCl})_{1-a}$ , его молярная масса равна  $a \cdot 58.5 + (1-a) \cdot 74.5$ , получим  $a = 0.056$ , состав  $(\text{NaCl})_{0.056}(\text{KCl})_{0.944}$  (**2 балла**).

В случае хлора к 0.5 необходимо приравнять дробь  $35.5/(58.5a + 74.5(1-a))$ , что даёт  $a = 0.219$ , состав  $(\text{NaCl})_{0.219}(\text{KCl})_{0.781}$  (**2 балла**) (результат может незначительно отличаться при использовании более точных значений атомных масс).

3. При добавлении нитрата серебра к раствору смеси хлоридов натрия и калия выпадает осадок хлорида серебра:  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$  (**1 балл**)

Количество хлорида составляет  $1.00/143.5 = 0.00697$  моль. Общее количество вещества хлоридов натрия и калия тоже 0.00697 моль, а средняя молярная масса –  $0.5/0.00697 = 71.7$  г/моль. Приравнивая это к  $58.5a + 74.5(1-a)$ , получим  $a = 0.175$ , состав  $(\text{NaCl})_{0.175}(\text{KCl})_{0.825}$  (**2 балла**).

4. 82 г раствора плотностью 1 г/мл отдали количество тепла, равное  $82 \cdot 1.372 \cdot 4.2 = 472.5$  Дж. Удельная теплота растворения составит  $-472.5/2 = -236$  Дж/г (**1 балл**); мольная величина будет равна  $-236 \cdot 74.5 = -17600$  Дж/моль (**1 балл**)

5. В случае 2 г NaCl количество вещества составит  $2/58.5 = 0.0342$  моль, а количество отданной раствором теплоты –  $0.0342 \cdot 5100 = 174.4$  Дж. Раствор охладится на  $\Delta T = 174.4/(82 \cdot 4.2) = 0.506$  °С (**1 балл**)

6. Раствор потерял количество теплоты, равное  $93.5 \cdot 1.000 \cdot 4.2 = 392.7$  Дж. Пусть растворилось  $x$  моль NaCl и  $y$  моль KCl. Тогда:

Откуда  $x = 0.0498$  и  $y = 0.0079$ . При таком соотношении компонентов состав может быть выражен формулой  $(\text{NaCl})_{0.863} \cdot (\text{KCl})_{0.137}$  (**3 балла**).

**Всего максимум 19 баллов**

**Задание 2.**

По описанию элемента (указание на происхождение название, близость свойств к свойствам алюминия) можно установить, что **X** – **Ga**. Однако можно рассчитать молярную массу **X** через соединение **X**<sub>8</sub>. Поскольку **X**<sub>8</sub> относится к квасцам и образуется при добавлении к **X**<sub>7</sub> сульфата аммония, можно предположить, что **X**<sub>8</sub> имеет формулу  $(\text{NH}_4)\text{X}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Зная массовую долю **X** в квасцах, можно составить следующее уравнение:

$$\omega(\text{X}) = 0.1411 = \frac{M(\text{X})}{M(\text{X}) + 14 + 4 + 96 \cdot 2 + 12 \cdot 18}$$

Решение данного уравнения дает нам  $M(\text{X}) \approx 70 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ , что соответствует **Ga** (1 балл).

**Формулы веществ (по 1 баллу за формулу):**

<b>X</b> <sub>1</sub>	<b>X</b> <sub>2</sub>	<b>X</b> <sub>3</sub>	<b>X</b> <sub>4</sub>	<b>X</b> <sub>5</sub>
<b>GaCl</b> <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	<b>GaCl</b> <sub>3</sub>	<b>Ga</b> <sub>2</sub> H <sub>6</sub> *	Na[Ga(OH) <sub>4</sub> ]	<b>Ga(OH)</b> <sub>3</sub>
<b>X</b> <sub>6</sub>	<b>X</b> <sub>7</sub>		<b>X</b> <sub>8</sub>	<b>X</b> <sub>9</sub>
<b>Ga</b> <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>Ga</b> <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <b>Ga</b> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O		<b>Ga</b> <sub>2</sub> O

\* за формулу GaH<sub>3</sub> - 0.5 балла

**Уравнения реакций:**

- 1) 2Ga + 6HCl + 12H<sub>2</sub>O = 2GaCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O + 3H<sub>2</sub>
- 2) GaCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O + 6SOCl<sub>2</sub> = GaCl<sub>3</sub> + 6SO<sub>2</sub> + 12HCl
- 3) 2Ga + 3Cl<sub>2</sub> = 2GaCl<sub>3</sub>
- 4) 4GaCl<sub>3</sub> + 3LiAlH<sub>4</sub> = 2Ga<sub>2</sub>H<sub>6</sub> + 3LiCl + 3AlCl<sub>3</sub> (вариант с 4GaH<sub>3</sub> оценивается полным баллом)
- 5) 2Ga + 2NaOH + 6H<sub>2</sub>O = 2Na[Ga(OH)<sub>4</sub>] + 3H<sub>2</sub>
- 6) Na[Ga(OH)<sub>4</sub>] + CO<sub>2</sub> = NaHCO<sub>3</sub> + Ga(OH)<sub>3</sub>
- 7) 2Ga(OH)<sub>3</sub> = Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>O
- 8) 4Ga + 3O<sub>2</sub> = 2Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 9) Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Ga<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>O
- 10) Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 4Ga = 3Ga<sub>2</sub>O
- 11) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + Ga<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + 24H<sub>2</sub>O = 2(NH<sub>4</sub>)Ga(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O  
(по 1 баллу за уравнение)

**Всего максимум 21 балл**

### Задание 3.

Если считать разложение полным, то масса продуктов разложения  $X$  равна массе исходной соли, то есть 1 г, а объём – объёму сосуда. Тогда плотность вещества в сосуде составит 1 г / 1 л = 1 г/л (2 балла). Количество вещества рассчитаем по уравнению Менделеева-Клапейрона:

**0.044 моль (2 балла)**

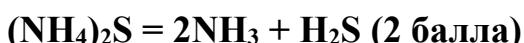
Среднюю молярную массу можно рассчитать как отношение массы газов к их количеству:

$$M_{cp} = 1/0.044 = 22.73 \text{ г/моль (2 балла)}$$

Разложение без образования твёрдого остатка и небольшая средняя молярная масса газов указывают на отсутствие металла в составе соли, поэтому наиболее вероятный вариант – соли аммония. Если предположить, что разложение проходит по схеме  $X \rightarrow n\text{NH}_3 + Z$ , где  $Z$  – газ, образующийся при разложении аниона, то средняя молярная масса продуктов разложения будет задаваться выражением:

$$M_{cp} = \frac{17n + M(Z)}{n+1}$$

$n = 1$  даёт  $M(Z) = 28.5$  г/моль; подобрать газ с такой молярной массой затруднительно.  $n = 2$  даёт  $M(Z) = 34$  г/моль, что может соответствовать  $\text{H}_2\text{S}$ . Тогда  $X = (\text{NH}_4)_2\text{S}$  (2 балла).



Неполное разложение  $X$  может дать гидросульфид аммония  $\text{NH}_4\text{HS}$  –  $Y$  (2 балла).

Количество вещества в 1 г  $\text{NH}_4\text{HS}$  составляет  $n = 1/51 = 0.0196$  моль. Количество продуктов разложения –  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$  – вдвое больше, то есть 0.0392 моль. Эти газы должны создать давление  $1162/750 \cdot 100 = 154.9$  кПа. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, выразим температуру:

**баллов)**

**Всего максимум 18 баллов**

### Задание 4.

$$Q_p(a) = Q_{обр}(\text{C}_3\text{H}_8) - Q_{обр}(\text{C}_3\text{H}_6) = 105 - (-53) = 158 \text{ кДж/моль (2 балла).}$$

$$Q_p(b) = 8E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C-C}} - 6E_{\text{C-H}} = 2E_{\text{C-H}} - E_{\text{H-H}} - E_{\text{C-C}} = 410 \cdot 2 - 350 -$$

2. Обозначим энергию искажённой связи  $E_{\text{C*}-\text{C}^*}$ , получим:

$E$

$E$

$$E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C*}-\text{C}^*} - 6E_{\text{C-H}} = 2E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C*}-\text{C}^*} = 158 \text{ кДж/моль}$$

$$E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 158)/3 = (410 \cdot 2 + 350 \cdot 2 - 436 - 158)/3 = 309 \text{ кДж/моль (3 балла)}$$

$$Q_p(a) = Q_{\text{сгор}}(\text{C}_6\text{H}_6) + 3Q_{\text{сгор}}(\text{H}_2) - Q_{\text{сгор}}(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 3300 + 286 \cdot 3 - 4200 = \mathbf{-42 \text{ кДж/моль (2 балла)}}$$

$$Q_p(b) = 12E_{\text{C-H}} + 6E_{\text{C-C}} - 3E_{\text{C-C}} - 3E_{\text{C=C}} - 3E_{\text{H-H}} - 6E_{\text{C-H}} = 6E_{\text{C-H}} + 3E_{\text{C-C}} - 3E_{\text{C=C}} -$$

$$\Delta E = 372 - (-42) = \mathbf{414 \text{ кДж/моль (1 балл)}}$$

5. Запишем реакцию  $2\text{C}_3\text{H}_6 = \text{C}_6\text{H}_{12}$

Теплоту этой реакции оценим по энергиям связи:

$$Q_p = 6E_{\text{C-C}} - 6E_{\text{C*-C*}} = (350 - 309) \cdot 6 = 246 \text{ кДж/моль}$$

С другой стороны, эту теплоту можно выразить через теплоты образования или теплоты сгорания реагентов и продуктов:

$$Q_p = Q_{\text{обр}}(\text{C}_6\text{H}_{12}) - 2Q_{\text{обр}}(\text{C}_3\text{H}_6)$$

$Q_{\text{обр}}(\text{C}_3\text{H}_6) = -53 \text{ кДж/моль}$ , откуда  $Q_{\text{обр}}(\text{C}_6\text{H}_{12}) = \mathbf{140 \text{ кДж/моль (3 балла)}}$

$$Q_p = 2Q_{\text{сгор}}(\text{C}_3\text{H}_6) - Q_{\text{сгор}}(\text{C}_6\text{H}_{12})$$

$Q_{\text{сгор}}(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 4200 \text{ кДж/моль}$ , откуда  $Q_{\text{сгор}}(\text{C}_3\text{H}_6) = \mathbf{2223 \text{ кДж/моль (3 балла)}}$

**Всего максимум 19 баллов**

## 10 класс

### Задание 1.

1. Цвета соединений, ярко выраженные окислительные свойства ряда веществ и связь названия элемента с цветом позволяет предположить, что речь идёт о хроме: **X – Cr (2 балла).**

**Формулы соединений (по 1 баллу):**

A	Б	В	Г
Cr	$K_2CrO_4$	$K_2Cr_2O_7$	$Cr_2(SO_4)_3$
Д	Е	Ж	З
$K_3[Cr(OH)_6]$	$CrO_3$	$CrO_2Cl_2$	$CrO(O_2)_2 \cdot C_5H_5N$

Состав соединения **З** можно установить расчётом. В предположении, что вещество содержит 1 атом хрома, имеем:

$$M(3) = 52/0.2464 = 211 \text{ г/моль}$$

За вычетом массы самого хрома и массы как минимум одной молекулы пиридина ( $M = 79 \text{ г/моль}$ ) получаем остаток 80 г/моль. Этот остаток может быть получен следующими комбинациями:  $C_5H_5N + H$ ,  $S + 3O$ ,  $2S + O$  или  $5O$ . Верным является последний вариант: соединение обогащено атомами кислорода за счёт реакций с пероксидом водорода и содержит в структуре пероксидные фрагменты  $O-O$ .

**Название элемента происходит от греческого слова «цвет» (1 балл)**

Уравнения реакций:

1.  $Cr + 2KOH + KClO_3 \rightarrow K_2CrO_4 + KCl + H_2O$
2.  $2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$
3.  $K_2Cr_2O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$
4.  $4K_2CrO_4 + 3N_2H_4 + 4KOH + 4H_2O \rightarrow 4K_3[Cr(OH)_6] + 3N_2$   
 $\rightarrow 2(CrO_3)_n + 2nKHSO_4 + nH_2O$  (допустимо написание  $CrO_3$ , вариант с

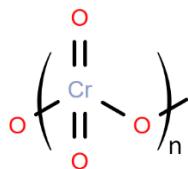
$KCl \rightarrow 2CrO_2Cl_2 + 6KHSO_4 + 3H_2O$  (вариант с  $K_2SO_4$  оценивается в 0.5 балла)

7.  $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + 4H_2O_2 + 2C_5H_5N \rightarrow 2CrO(O_2)_2 \cdot C_5H_5N + K_2SO_4 + 5H_2O$

(каждое уравнение – 1 балл)

**Хромпик или хромовая смесь (любое из названий – 1 балл)**

5. В условиях, указанных в задаче, дихромат полимеризуется с образованием



(1 балл за структурную формулу)

Всего максимум 20 баллов

**Задание 2.**

Рассчитаем средние молярные массы газовых смесей умножением их плотностей при н.у. на молярный объём при н.у.:

Смесь	Плотность смеси (н.у.), г/л	$M_{cp}$ , г/моль	Основной продукт	Побочный продукт
<b>A + B</b>	0.380	<b>8.5</b>	<b>C</b>	-
<b>A + D</b>	0.476	<b>10.66</b>	<b>M</b>	- (примеси <b>E</b> , <b>W</b> )
<b>C + D</b>	1.005	<b>22.5</b>	<b>P</b>	<b>W</b>
<b>C + E</b>	0.737	<b>16.5</b>	<b>P</b>	<b>A</b>
<b>F + C</b>	1.161	<b>26.0</b>	<b>U</b>	<b>W</b>

Небольшие величины средней молярной массы в случае первых двух смесей позволяют предположить, что там содержится водород. Предположим, что это A – общий для двух смесей компонент. При этом остаток 0.66 в средней молярной массе второй смеси позволяет сделать допущение, что её компоненты смешаны в соотношении 1 : 2 или 2 : 1. Тогда:

$M_{cp}(A + D) = 10.66 = 1/3 \cdot 2 + 2/3 \cdot M(D)$  или  $2/3 \cdot 2 + 1/3 \cdot M(D)$ , что даёт для подобрать газ, а второй молярной массе могут соответствовать азот  $N_2$ , угарный газ  $CO$ , этилен  $C_2H_4$  или диборан  $B_2H_6$  (с грубыми округлениями). Основной продукт M – жидкий, поэтому азот можно исключить. Этилен также не даёт с водородом жидкий продукт, диборан с водородом не реагирует. Остаётся CO. Учитывая соотношение  $CO + 2H_2$  и отсутствие побочных продуктов, можно прописать веществу M формулу  $CH_4O$ . Это метанол.

Вернёмся к первой смеси и обратим внимание, что газообразный продукт её взаимодействия используется в других смесях. Учитывая наличие в смеси водорода, разумно предположить, что это аммиак. Средняя молярная масса смеси  $N_2$  и  $3H_2$  равна 8.5 г/моль, что подтверждает эту гипотезу. Итак, B –  $N_2$ , C

Четвёртая смесь содержит  $NH_3$  и газ E. Последний, учитывая условия его получения, может содержать углерод, водород и кислород. Учитывая, что

молярная масса смеси равна 16.5, Е должен иметь молярную массу меньше этой величины. Подходит только метан CH<sub>4</sub>. Смесь NH<sub>3</sub> и CH<sub>4</sub> реагирует с образованием Р и выделением водорода. Продукт этой реакции должен содержать углерод, водород и азот и, как следует из вопроса 3, иметь плотность паров меньше плотности воздуха. Следовательно, его молярная масса меньше 29 г/моль. Единственный подходящий вариант – HCN. Обратим внимание, что Р также получают из смеси NH<sub>3</sub> и CO, содержащей кислород в элементном составе. Разумно предположить, что W – H<sub>2</sub>O.

В пятой смеси в качестве побочного продукта образуется вода, поэтому F – кислородсодержащий газ. Предположение о составе смеси 1:1 даёт для F нереалистичную молярную массу 35 г/моль, предположение о составах 1:2 или 2:1 – 30.5 или 44 г/моль. Последняя соответствует N<sub>2</sub>O или CO<sub>2</sub>. Для синтеза ценного промышленного продукта используется последний: смесь

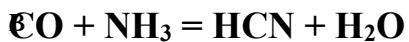
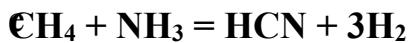
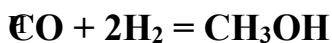
и

A	B	C	D	E
д H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CO	CH <sub>4</sub>
а F	M	W	P	U
ё CO <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH	H <sub>2</sub> O	HCN	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO

По 1 баллу за формулу

Уравнения реакций:

о



По 1 баллу за уравнение

у

Молярная масса HCN равна 27 г/моль. Рассчитаем плотность по преобразованному уравнению Менделеева-Клапейрона:  $\rho = p \cdot M / (R \cdot T) =$

(98.67 – давление в кПа, полученное переводом из 740 мм рт.ст.)

Всего максимум 17 баллов.

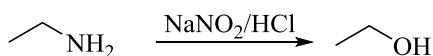
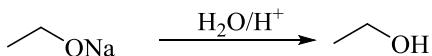
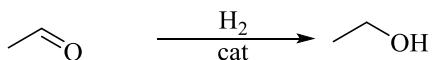
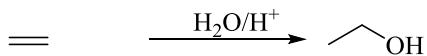
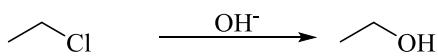
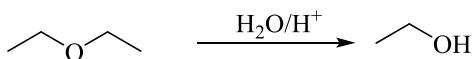
Задание 3.

1. Первое превращение, реакция ферментации, есть спиртовое брожение глюкозы, в результате которого образуется углекислый газ, CO<sub>2</sub> (B) и этанол, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (A). Далее под действием оксидов металлов происходит окисление и сочленение двух молекул этилового спирта с выделением органического продукта в виде бутадиена-1,3 (C). Таким образом:



### **Каждая верная структура вещества по 1 баллу**

Бутадиен-1,3 можно получить другими методами, например:



### **3 возможных способа - по 1 баллу**

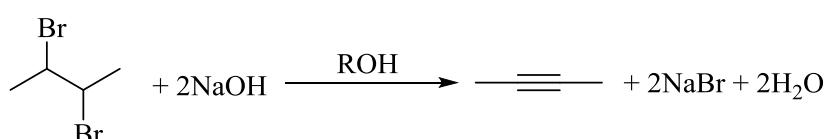
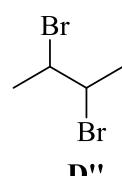
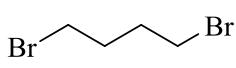
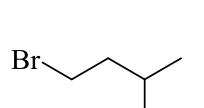
### Реакция Лебедева. Уравнение:

(кат. ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

**За указание названия реакции 1 балл**

**За уравнение реакции 1 балл**

3. Решим вместе 3 и 4 пункты. При дегидратации изомеров **D** и **D'** образуется сопряженный диен без побочных продуктов реакции. В этом случае атомы брома не могут находиться на одном или соседних атомах углерода, потому что иначе стоит ожидать образование алкина. В случае **D''** образование алкина, напротив, является доминирующим процессом, поэтому атомы брома расположены на соседних атомах углерода. Указание на наличие плоскости симметрии позволяет выбрать 2,3-дигидробутан.



## Структуры веществ по 1 баллу

За структуру продукта реакции (бутина-2) 1 балл

5. Гомологами этанола являются метанол, пропанол и изопропанол. Так как в ходе всей цепочки реакций количество атомов углерода не увеличивается, а

исходные газы легче воздуха и их молярная масса не превышает 29 г/моль, веществом **E** является метиловый спирт или метанол. Действительно,  $\text{CH}_3\text{OH}$  является ядом, приём которого вызывает сильное отравление вплоть до летального исхода. В промышленности метанол получают из двух газов: водорода и угарного газа.

**F/G –  $\text{H}_2$ , G/F –  $\text{CO}$ , E –  $\text{CH}_3\text{OH}$ , H –  $\text{CH}_2\text{O}$ , I -  $\text{HCOOH}$**

**По 1 баллу за каждое вещество**

**Всего максимум 17 баллов**

**Задание 4.**

$n_{\max} = 0.9$ . Решаем уравнение вида:

$$0.9 = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot p}{1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot p}$$

Откуда  $p = 1800 \text{ Па (2 балла)}$ .

Взяв две произвольные точки, составим и решим систему уравнений вида:

$$n_1 = \frac{131 \cdot 10^{-3}}{28} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot p_1}{1 + K \cdot p_1} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot 5000}{1 + K \cdot 5000}$$

$$n_2 = \frac{224 \cdot 10^{-3}}{28} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot p_2}{1 + K \cdot p_2} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot 12000}{1 + K \cdot 12000}$$

Что даёт  $K = 8.1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$  (2 балла),  $n_{\max} = 1.62 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$  (2 балла).

Давление 8000 Па будет соответствовать количеству вещества:

$$n = 1.62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{8.1 \cdot 10^{-5} \cdot 8000}{1 + 8.1 \cdot 10^{-5} \cdot 8000} = 6.36 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

**178 мг (2 балла)**

Для нахождения давления, соответствующего массе 300 мг, решаем уравнение вида:

$$n = \frac{350 \cdot 10^{-3}}{28} = 1.62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{8.1 \cdot 10^{-5} \cdot p}{1 + 8.1 \cdot 10^{-5} \cdot p}$$

Откуда  $p = 24200 \text{ Па (2 балла)}$ .

В случае предельной адсорбции материал адсорбирует

*n*

молекул. Учитывая, что площадь одной молекулы равна  $16 \text{ \AA}^2 = 16 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$ ,

общая площадь материала составляет  
Адсорбция из газовой фазы происходит за счёт образования новых связей  
 $= 1562 \text{ м}^2$  а удельная площадь поверхности  $1562/0.434 = 3600 \text{ м}^2/\text{г}$  (3 балла).  
между поверхностью и молекулами сорбата. Образование связей  
экзотермический процесс, которому соответствует **отрицательная**  
**энталпия адсорбции (1 балл за ответ и 1 балл за объяснение).**

**Всего максимум 15 баллов**

## 11 класс

### Задание 1.

Формулы веществ:

X	A	B	C	D
Бор (B)	BF <sub>3</sub>	H[BF <sub>4</sub> ]	ThB <sub>6</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
E	F	G	H	I
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	BCl <sub>3</sub>	Na[BH <sub>4</sub> ]	NaBO <sub>2</sub>

(по 1 баллу за формулу)

Уравнения реакций:

- 1) 2B + 3F<sub>2</sub> → 2BF<sub>3</sub>
- 2) BF<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>O → H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + 3HF
- 3) HF + BF<sub>3</sub> → H[BF<sub>4</sub>]
- 4) Th + 6B → ThB<sub>6</sub>
- 5) 4B + 3O<sub>2</sub> → 2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 6) H<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> → 2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O
- 7) 4H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> → H<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> + 5H<sub>2</sub>O
- 8) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 3C + 3Cl<sub>2</sub> → 2BCl<sub>3</sub> + 3CO
- 9) BCl<sub>3</sub> + 4NaH → Na[BH<sub>4</sub>] + 3NaCl
- 10) Na[BH<sub>4</sub>] + 2H<sub>2</sub>O → NaBO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub>

(по 1 баллу за уравнение)

Всего максимум 20 баллов

### Задание 2.

Газ Б выделяется из щёлочи, следовательно, Б – NH<sub>3</sub> (1 балл), а газ Г выделяется из кислоты, скорее всего, это CO<sub>2</sub> или SO<sub>2</sub>.

Выразим молярную массу А через массовую долю и количество атомов азота в нём:

$$M(A) = M(N) \cdot x / w(N)$$

$$M(A) = 14 \cdot x / 0.4665 = 30x \text{ г/моль,}$$

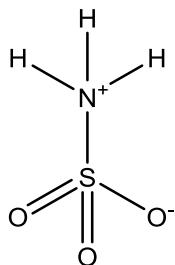
x – количество атомов азота в соединении.

**M(A) = 60 г/моль (1 балл)** (при x = 2). Эта молярная масса соответствует молярной массе карбамида – А – (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO (1 балл). При его щелочном гидролизе выделяется аммиак, а при кислотном – углекислый газ Г – CO<sub>2</sub> (1 балл).

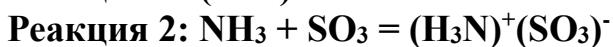
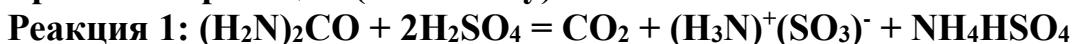
Х существует в растворе в форме цвиттер-иона, не содержит углерода и образуется в ходе реакции (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO с безводной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, исходя из этого, логично предположить, что X – (H<sub>3</sub>N)<sup>+</sup>(SO<sub>3</sub>)<sup>-</sup> (2 балла).

Реакцией бинарных неорганических веществ Б и В можно получить

Структурная формула цвиттер-иона **Х** (1 балл):



Уравнения реакций (по 1 баллу)



**Ж** описывается как горючий газ, имеющий тетраэдрическую геометрию, наиболее простым предположением является, что **Ж** – **CH<sub>4</sub>** (1 балл). Реакция аммиака с метаном, протекающая при 1200 -1300 °С, используется для получения циановодорода в промышленности, **З** – **HCN** (1 балл):

Н

Взаимодействие HCN с KOH – это реакция нейтрализации, продуктом которой является калиевая соль синильной кислоты, значит, **И** – **KCN** (1 балл), а реакция цианидов с кислородом приводит к образованию цианатов – **Е** – **KOCN** (1 балл).

Н

К

**KOCN**

Соль **Д** имеет в своём составе цианат-анион (как и соль KOCN по условию) и была получена из (H<sub>2</sub>N)<sub>2</sub>CO, значит, катионом соли **Д** является аммоний. Следовательно, **Д** – **(NH<sub>4</sub>)OCN** (1 балл).

При нагревании цианат аммония (NH<sub>4</sub>OCN) превращается в карбамид (1 балл) в 1828 году.

**Всего максимум 16 баллов**

**Задание 3.**

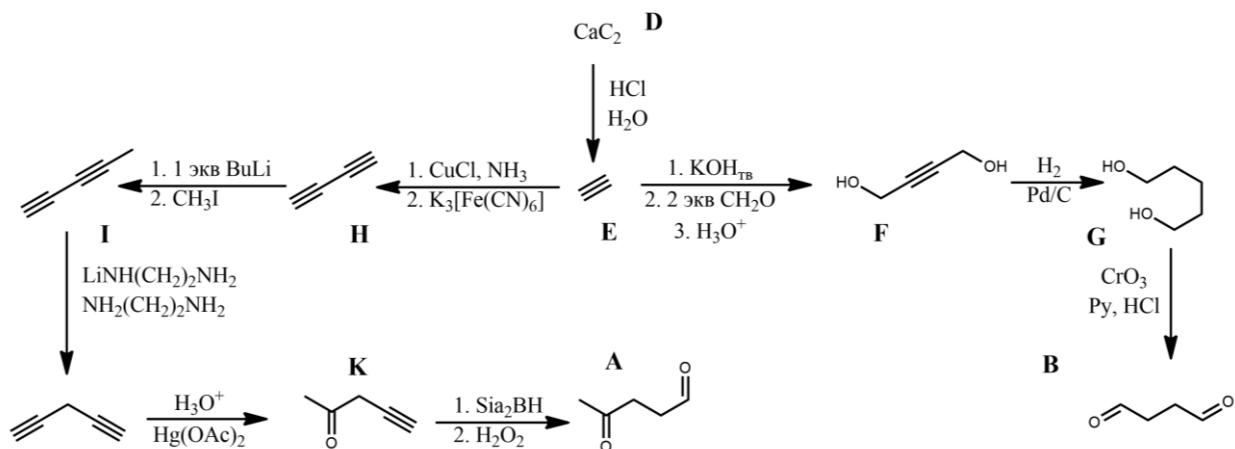
Решение задачи следует начать с установления формулы **Д**. Массовая доля углерода в нём равна 37.5 %. Судя по дальнейшим реакциям наращивания углеродного скелета, можно сделать предположение, что в **Д** содержится от 2

до 5 атомов углерода. Тогда можно воспользоваться перебором и составить таблицу по формуле:

$$M_r(D) = \frac{12n}{0.375}$$

Число атомов углерода, n	Молярная масса D, г/моль	$M_r(D) - 12n$
2	64	$64 - 12 \cdot 2 = 40$ ( $\text{Ca}^{2+}$ )
3	96	$96 - 12 \cdot 3 = 60$ (?)
4	128	$128 - 12 \cdot 4 = 80$ (?)
5	160	$160 - 12 \cdot 5 = 100$ (?)

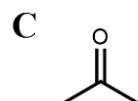
Таким образом веществом **D** является карбид кальция  $\text{CaC}_2$ . Схема превращений, представленная в задаче:



Вещество **C** содержит 62.07% углерода, также известно, что оно получено при озонолизе соединения **X**, следовательно **C** является также как **A** и **B** кетоном и/или альдегидом. Способ расчёта аналогичен способу установления состава вещества **D**.

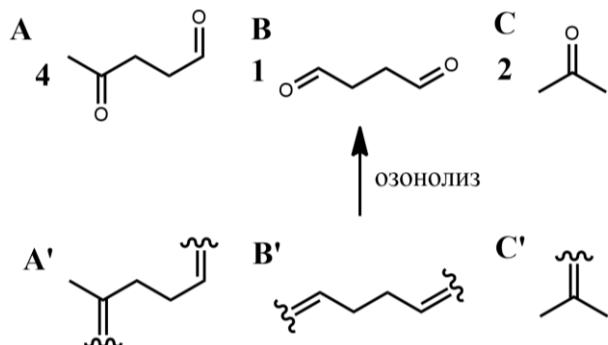
$$M_r(C) = \frac{12n}{0.6207}$$

Тогда на три атома углерода получаем формулу  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ , что соответствует пропаналю и пропанону. Подсказкой в выборе служит упоминание о кумольном синтезе, в ходе которого в промышленности получают фенол и ацетон, значит вещество **C** – это пропанон или ацетон.

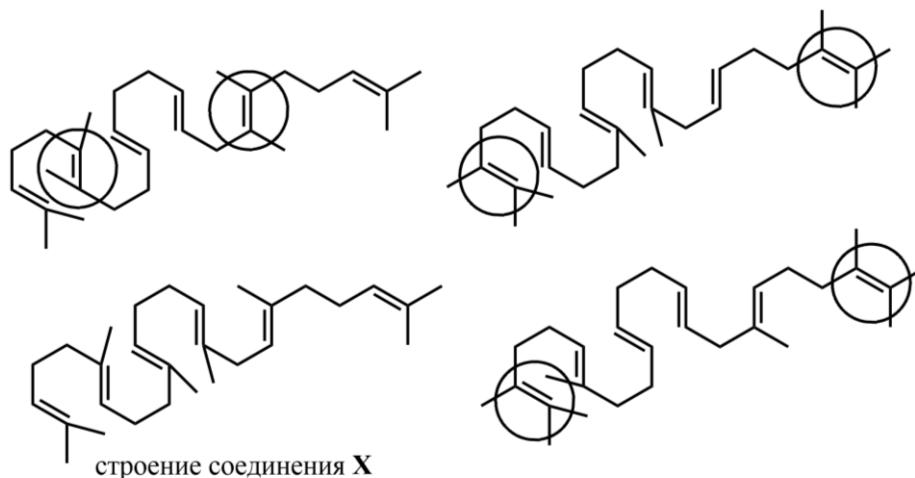


За структурную формулу каждого вещества по 1.5 балла

Так как в ходе восстановительного озонолиза двойные связи рвутся с образованием карбонильных соединений, далее в решении будут упоминаться структурные элементы **A'**, **B'**, **C'**, образованные от **A**, **B**, **C**, от которых «отщепили атом кислорода».



Молекулы ацетона могли образоваться при условии, что 2 фрагмента **C'** являются концевой частью структуры **X**. Поскольку **X** симметрично, фрагмент **B'** соединен с двух свободных концов с двумя фрагментами **A'**. Так как 2 части фрагмента **A'** идут друг за другом, для них возможно 4 различных расположения в структуре, из которых лишь одно удовлетворяет условию, что при каждой двойной связи содержится метильный заместитель:



Количество двойных связей в **X** равно **шести (1 балл)**.

За строение вещества **X** **2 балла**.

**Итого максимум 18 баллов**

#### Задание 4.

1. Для расчёта концентрации  $[H^+]$  используем константу равновесия:

$$K_{a1} = \frac{[H^+]^2}{0.01 - [H^+]} = 1.26 \cdot 10^{-2}$$

Откуда  $[H^+] = 6.57 \cdot 10^{-3}$  М, а **pH = 2.18 (2 балла)**. Использование в данном расчёте упрощённой формулы ведёт к некорректному результату.

2. Величина  $[H^+]$  для второго раствора равна  $10^{-9}$  М, а величина  $[OH^-] = K_w/[H^+] = 10^{-14}/10^{-9} = 10^{-5}$  М. Щелочная среда обусловлена гидролизом по аниону; рассчитаем сперва константу равновесия этого процесса:

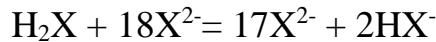
$$K_{h1} = \frac{[OH^-]^2}{0.0085 \cdot [OH^-]} = 1.18 \cdot 10^{-8}$$

Тогда  $K_{a2} = K_w/K_{h1} = 10^{-14}/(1.18 \cdot 10^{-9}) = 8.49 \cdot 10^{-7}$  (2 балла)

3. При  $pH = 7.00$  можно пренебречь содержанием формы  $H_2X$  в растворе. Раствор, содержащий только  $HX^-$  и  $X^{2-}$ , будет буферным; соотношение концентраций форм можно выразить через величину  $K_{a2}$ :

$$K_{a2} = \frac{[H^+][X^{2-}]}{[HX^-]} = \frac{10^{-7}[X^{2-}]}{[HX^-]} = 8.49 \cdot 10^{-7}$$

Откуда  $[X^{2-}] = 8.5[XH^-]$ . Процесс смешения представим следующей брутто-реакцией:



Откуда следует, что  $H_2X$  и  $Na_2X$  необходимо смешать в мольном соотношении 1 к 18. С учётом разницы в концентрациях имеем:  $n_2/n_1 = (C_2V_2)/(C_1V_1) = (8.50 \cdot 10^{-3}V_2)/(10^{-2}V_1) = 18$ , откуда  $V_2/V_1 = 21.2$  (3 балла).

С использованием констант равновесия, величины  $pH$  и материального баланса получим:

$$[H_2Y] = 10^{-3.5} \cdot [HY^-]/(9.33 \cdot 10^{-4}) = 0.339[HY^-]$$

$$[Y^{2-}] = 3.63 \cdot 10^{-5} \cdot [HY^-]/(10^{-3.5}) = 0.115[HY^-]$$

$$[H_2Y] + [HY^-] + [Y^{2-}] = 0.05 = 0.339[HY^-] + [HY^-] + 0.115[HY^-]$$

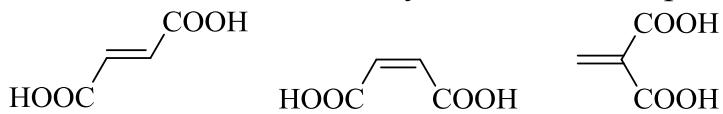
Откуда  $[HY^-] = 0.0343$  М,  $[H_2Y] = 0.0117$  М,  $[Y^{2-}] = 0.0040$  М (по 2 балла за концентрацию каждой частицы)

$$n(C) = n(CO_2) = 0.896/22.4 = 0.04 \text{ моль}$$

$$n(H) = 2n(H_2O) = 2 \cdot 0.36 \cdot 1/18 = 0.04 \text{ моль}$$

$$n(O) = (1.16 - 0.04 \cdot 12 - 0.04 \cdot 1)/16 = 0.04 \text{ моль}$$

Простейшая формула вещества **CHO**, но дикарбоновая кислота должна содержать как минимум 4 атома кислорода, поэтому наиболее вероятный вариант – **C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>** (2 балла). Выделяя карбоксильные группы, получаем формулу радикала C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Для такой молекулы можно изобразить три изомера:



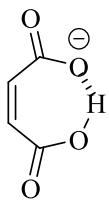
1

2

3

За счёт облучения можно превратить друг в друга цис- и транс-изомеры, поэтому исключаем вариант 3. Чтобы соотнести кислоты  $H_2X$  и  $H_2Y$  со структурами, обратимся к величинам констант кислотности. Видно, что для  $H_2X$  константы кислотности различаются на 5 порядков; при этом  $K_{a1}$  выше, чем соответствующая величина у  $H_2Y$ , а  $K_{a2}$ , наоборот, меньше. Это

характерно для структуры под номером 2 – малеиновой кислоты, поскольку диссоциация первой карбоксильной группы облегчается за счёт образования внутримолекулярной водородной связи:



В транс-изомере (1 соответствует  $H_2Y$ ) такие контакты невозможны, поэтому диссоциация двух карбоксильных групп происходит почти независимо, и константы диссоциации отличаются не так сильно. **Верные структурные формулы – по 1.5 балла.**

**Всего максимум 18 баллов**