

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ХИМИИ
Теоретический тур, 14 – 17 марта 2025 года, X-ый класс
Решения и схема оценивания

Сумма 70 б.

Задание	Содержание верного ответа и указания по оцениванию	Баллы	Всего баллов
Тест	<p>1. Газовая смесь состоит из 80 л азота и 20 л аммиака. Сколько атомов азота приходится на один атом водорода в такой смеси?</p> <p>Ответ: 3 атома азота приходится на 1 атом водорода</p> <p>Вариант решения:</p> <p>Так как и азот и аммиак являются газами, то:</p> $\frac{v(\text{N}_2)}{v(\text{NH}_3)} = \frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{NH}_3)} = \frac{80 \text{ л}}{20 \text{ л}} = \frac{4}{1}$ <p>Возьмем такое количество этой смеси, в которой будет 1 моль аммиака. Тогда азота будет 4 моль.</p> <p>Количество моль атомов азота:</p> $v(\text{N}) = 2 \cdot v(\text{N}_2) + 1 \cdot v(\text{NH}_3) = 2 \cdot 4 \text{ моль} + 1 \cdot 1 \text{ моль} = 9 \text{ моль}$ <p>Количество моль атомов водорода:</p> $v(\text{H}) = 3 \cdot v(\text{NH}_3) = 3 \cdot 1 \text{ моль} = 3 \text{ моль}$ $\frac{N(\text{N})}{N(\text{H})} = \frac{v(\text{N})}{v(\text{H})} = \frac{9 \text{ моль}}{3 \text{ моль}} = 3$ <p>Примечание: требуется только дать верный ответ; за верный ответ 1 б.</p>	1 б.	25 б.
	<p>2. Минерал малахит растворяется при нагревании в концентрированном растворе нашатыря с образованием раствора ярко-синего цвета. Напишите уравнение протекающей при этом реакции.</p> <p>Ответ: $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 4\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{t^\circ} [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 + \text{CuCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$</p> <p>Комментарий:</p> <p>Минерал малахит (или основной карбонат меди) имеет состав $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ и является относительно редким минералом. Это связано с истощением ранее открытых месторождений. В настоящее время он используется в основном для изготовления украшений. Проверить подлинность (натуральность) малахита можно его нагреванием с концентрированным раствором нашатыря (хлорида аммония).</p> <p>Примечание: за верное уравнение реакции 2 б. (1 б. за верные формулы всех веществ; 1 б. за верные коэффициенты).</p> <p>Вариант записи</p> $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 4\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{CuCl}_2 + 4\text{NH}_3 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ <p>оценивается в 1 б. (0,5 б. за верные формулы всех веществ; 0,5 б. за верные коэффициенты).</p>	2 б.	
	<p>3. Ион XO_3^- содержит 42 электрона. Определите элемент X и напишите уравнение реакции простого вещества элемента X с горячим раствором гидроксида калия.</p> <p>Ответ: X – Cl</p>	3 б.	

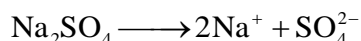
	$3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH} \xrightarrow{t^\circ} 5\text{KCl} + \text{KClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ <p>Вариант решения: Ион HO_3^- содержит 42 электрона и имеет заряд $-1 \Rightarrow$ общее число протонов всех атомов в этом ионе равно 41. Атом кислорода имеет в ядре 8 протонов. Тогда число протонов в элементе X равно $41 - 3 \cdot 8 = 17 \Rightarrow X - \text{Cl}$ Простое вещество Cl_2. В горячем растворе щелочи протекает реакция диспропорционирования: $3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH} \xrightarrow{t^\circ} 5\text{KCl} + \text{KClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$</p> <p>Примечание: за верное определение элемента X – 1 б.; за уравнение реакции 2 б. (1 б. за верные формулы всех веществ; 1 б. за верные коэффициенты).</p>		
	<p>4. Известны вещества, состоящие из изоэлектронных ионов (ионов, имеющих одинаковую электронную конфигурацию). Приведите два примера таких веществ и для каждого из них укажите электронные конфигурации ионов.</p> <p>Вариант ответа: Вещество 1 – NaF; электронные конфигурации ионов – $1s^2 2s^2 2p^6$ Вещество 2 – KCl; электронные конфигурации ионов – $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$</p> <p>Примечание: принимаются и другие варианты ионных соединений, которые соответствуют условию. Не обязательно, чтобы электронные конфигурации ионов в первом и втором веществе были различными, т.е. подходит и комбинация NaF и MgO. За формулы веществ по 0,75 б. За электронные конфигурации по 0,25 б.</p>	2 б.	
	<p>5. Известно, что вещества X^1, X^2 и X^3 вступают в реакции, описываемые следующими схемами:</p> $X^1 + \text{O}_2 \longrightarrow X^2$ $X^2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} X^1 + X^3$ $X^3 + \text{Cu} \longrightarrow X^1 + \dots$ $X^2 + \text{Cu} \xrightarrow{t} \dots$ <p>Напишите уравнения этих реакций. «...» может означать одно или несколько веществ.</p> <p>Ответ: $2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$ $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{NO} + 2\text{HNO}_3$ $8\text{HNO}_3(\text{разб}) + 3\text{Cu} \longrightarrow 2\text{NO} \uparrow + 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $2\text{NO}_2 + 4\text{Cu} \xrightarrow{t^\circ} 4\text{CuO} + \text{N}_2 \uparrow$</p> <p>Примечание: каждое уравнение по 1 б. (0,5 б. за верные формулы всех веществ; 0,5 б. за верные коэффициенты).</p>	4 б.	
	<p>6. Укажите валентность и степень окисления центрального атома в дигидрате хлорида дихлоротетрааквахрома(III).</p> <p>Ответ: в дигидрате хлорида дихлоротетрааквахрома(III), который имеет координационную формулу $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ центральный атом проявляет валентность VI и находится в степени окисления +III (принимается и ответ +3).</p> <p>Примечание: 1 б. за верно указанную валентность; 1 б. за верно указанную степень окисления.</p>	2 б.	

	<p>7. Расставьте стехиометрические коэффициенты в ОВР:</p> $\text{Al} + \text{NO}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$ <p>Ответ: $7\text{Al} + 3\text{NO}_2 + 21\text{NaOH} + 15\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{NH}_3 + 7\text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$</p> <p>Вариант решения:</p> $\begin{array}{cccccccccccc} 0 & +4 & -2 & +1 & -2 & +1 & +1 & -2 & -3 & +1 & +1 & +3 & -2 & +1 \\ \text{Al} & + & \text{NO}_2 & + & \text{NaOH} & + & \text{H}_2\text{O} & \longrightarrow & \text{NH}_3 & + & \text{Na}_3 & [\text{Al}(\text{OH})_6] \end{array}$ $\text{Al}^0 - 3\bar{e} \longrightarrow \overset{+3}{\text{Al}} \quad 3 \quad \cdot 7$ <p style="text-align: center;">21</p> $\text{N}^{+4} + 7\bar{e} \longrightarrow \overset{-3}{\text{N}} \quad 7 \quad \cdot 3$ <p>Примечание: требуется только верно расставить все коэффициенты. За верные коэффициенты 2 б. Частично правильные ответы не оцениваются.</p>	2 б.	
	<p>8. Масса раствора с массовой долей 0,1 КОН и масса воды необходимые для приготовления 500 г раствора с массовой долей 0,02 КОН равны:</p> <p>а) 250 г и 250 г; б) 10 г и 490 г; с) 300 г и 200 г; д) 100 г и 400 г.</p> <p>Ответ: д) 100 г и 400 г</p> <p>Вариант решения:</p> <p>Эта задача может быть решена используя правило прямоугольника (диагонали, параллелограмма и т.д.), в котором воду можно представить как раствор с массовой долей растворенного вещества равной 0:</p> $\begin{array}{ccc} 0,1 & \searrow & 0,02 \\ & & \nearrow \\ & 0,02 & \\ & \nearrow & \searrow \\ 0 & & 0,08 \end{array}$ <p>Рассчитаем массу раствора с $\omega_1(\text{KOH}) = 0,1$</p> $m_1 = \frac{m \cdot 0,02}{0,02 + 0,08} = \frac{500 \cdot 0,02}{0,02 + 0,08} = 100 \text{ г}$ <p>Масса воды составляет: $m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m \cdot 0,08}{0,02 + 0,08} = \frac{500 \cdot 0,08}{0,02 + 0,08} = 400 \text{ г}$</p> <p>Другой вариант решения.</p> <p>Масса КОН в конечном растворе равна массе КОН в исходном растворе.</p> $m_1(\text{KOH}) = m(\text{KOH}) = m_{\text{р-р}} \cdot \omega(\text{KOH}) = 500 \text{ г} \cdot 0,02 = 10 \text{ г}$ <p>Тогда масса исходного раствора КОН:</p> $m_{1,\text{р-р}} = \frac{m_1(\text{KOH})}{\omega_1(\text{KOH})} = \frac{10 \text{ г}}{0,1} = 100 \text{ г}$ <p>Тогда масса добавленной воды:</p> $m_{\text{доб}}(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-р}} - m_{1,\text{р-р}} = 500 \text{ г} - 100 \text{ г} = 400 \text{ г}$ <p>Примечание: необходимо дать только ответ; за правильный ответ 1 б.; за неправильный ответ или множественный выбор – 0 б.</p>	1 б.	
	<p>9. В результате электролиза на инертных электродах 1000 г водного раствора сульфата натрия с массовой долей растворенного вещества равной 5% на аноде выделилось 80 л газа ($t = 25^\circ\text{C}$, $P = 1,24 \cdot 10^5 \text{ Па}$). Массовая доля (в %) сульфата натрия в растворе, полученном после электролиза равна:</p> <p>а) 5,8; б) 5,7; с) 5,4; д) 4,7.</p>	2 б.	

Ответ: а) 5,8

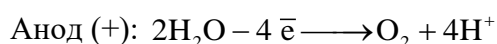
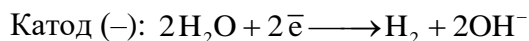
Вариант решения:

Сульфат натрия является сильным электролитом:

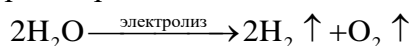


Ионы натрия при электролизе водного раствора не восстанавливаются на катоде. Сульфат-ионы при электролизе водного раствора не окисляются на аноде.

Тогда при электролизе будет протекать восстановление воды на катоде и окисление воды на аноде.



В результате электролиза водного раствора Na_2SO_4 протекает разложение воды. Масса соли (Na_2SO_4) в растворе не изменяется, но уменьшается масса воды, выполняющей роль растворителя. Ввиду этого процесса концентрация соли возрастает. Для решения задачи необходимо пересчитать концентрацию раствора.



Определяем количество выделившегося кислорода, используя уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$v(\text{O}_2) = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,24 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,08 \text{ м}^3}{8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 298 \text{ К}} = 4 \text{ моль}$$

Следовательно, разложению подверглись 8 моль H_2O .

$$m_{\text{пр}}(\text{H}_2\text{O}) = v_{\text{пр}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 8 \text{ моль} \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 144 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m_{1,\text{р-р}} \cdot \omega_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1000 \text{ г} \cdot 0,05 = 50 \text{ г}$$

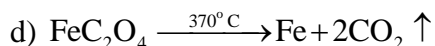
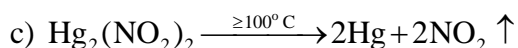
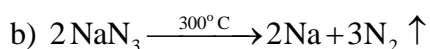
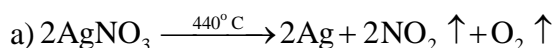
Массовая доля соли в конечном растворе:

$$\omega_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m_{1,\text{р-р}} - m_{\text{пр}}(\text{H}_2\text{O})} = \frac{50 \text{ г}}{1000 \text{ г} - 144 \text{ г}} = 0,0584 = 5,84\%$$

Примечание: необходимо дать только ответ; за правильный ответ 2 б.; за неправильный ответ или множественный выбор – 0 б.

10. Напишите уравнения реакций термического разложения трех различных солей (X^1 , X^2 , X^3), в результате которых образуется металл (простое вещество). Соли X^1 , X^2 , X^3 не должны содержать ни одинаковых катионов металлов, ни одинаковых анионов кислотных остатков.

Варианты ответов:



Примечание: по 2 б. за каждое из трех уравнений, которые полностью соответствуют условию (1 б. за верные формулы веществ; 1 б. за верные коэффициенты). Принимаются и другие верные варианты.

6 б.

Задача 1.	При полном растворении 21,1 г смеси натрия с алюминием в 100 мл воды выделилось 12,32 л (н. у.) водорода. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси. Какой объем раствора соляной кислоты с концентрацией 0,5 моль/л необходимо прибавить к полученному раствору, чтобы масса выпавшего при этом осадка была максимальной? Какова масса этого осадка? Напишите уравнения всех реакций.		11 б.
	<p>Решение:</p> $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$ $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2 \uparrow$ <p>Примечание: за первое уравнение 1 б. (0,5 б. за верные формулы всех веществ; 0,5 б. за верные коэффициенты); за второе уравнение 2 б. (1 б. за верные формулы всех веществ; 1 б. за верные коэффициенты). Также в 3 б. оценивается и вариант записи трех уравнений (по 1 б. за каждое):</p> $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$ $2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$ $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$	3 б.	
	<p>Определяем количество вещества выделяющегося газа:</p> $v(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{12,32 \text{ л}}{22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}} = 0,55 \text{ моль}$	0,5 б.	
	<p>Введем обозначения:</p> $v(\text{Na}) = x \text{ моль}$ $v(\text{Al}) = y \text{ моль}$		
	<p>Тогда масса смеси металлов:</p> $m(\text{смеси}) = m(\text{Na}) + m(\text{Al}) = v(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}) + v(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}) =$ $= x \text{ моль} \cdot 23 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + y \text{ моль} \cdot 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = (23x + 27y) \text{ г} = 21,1 \text{ г}$ $23 \cdot x + 27 \cdot y = 21,1$	0,5 б.	
	<p>По уравнениям реакций количество вещества выделившегося водорода:</p> $v(\text{H}_2) = v_1(\text{H}_2) + v_2(\text{H}_2) = 0,5 \cdot x \text{ моль} + 1,5 \cdot y \text{ моль} = 0,55 \text{ моль}$ $0,5 \cdot x + 1,5 \cdot y = 0,55$	0,5 б.	
	<p>Решаем систему уравнений:</p> $\begin{cases} 23 \cdot x + 27 \cdot y = 21,1 \\ 0,5 \cdot x + 1,5 \cdot y = 0,55 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 23 \cdot x + 27 \cdot y = 21,1 \\ 23 \cdot x + 69 \cdot y = 25,3 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 23 \cdot x + 27 \cdot y = 21,1 \\ 42 \cdot y = 4,2 \end{cases} \Leftrightarrow$ $\Leftrightarrow \begin{cases} 23 \cdot x = 21,1 - 27 \cdot 0,1 \\ y = 0,1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = 0,8 \\ y = 0,1 \end{cases}$	1 б.	
	<p>Тогда массы металлов в исходной смеси:</p> $m(\text{Na}) = v(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}) = x \text{ моль} \cdot 23 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,8 \text{ моль} \cdot 23 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 18,4 \text{ г}$ $m(\text{Al}) = v(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}) = y \text{ моль} \cdot 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,1 \text{ моль} \cdot 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 2,7 \text{ г}$	0,5 б.	
	<p>Массовые доли металлов в исходной смеси:</p>	1 б.	

	$\omega(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{m(\text{смесь})} = \frac{18,4\text{г}}{21,1\text{г}} = 0,872 = 87,2\%$ $\omega(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{m(\text{смесь})} = \frac{2,7\text{г}}{21,1\text{г}} = 0,128 = 12,8\%$	
	<p>При добавлении соляной кислоты сначала нейтрализуется избыток щелочи, а затем гидроксокомплекс с образованием нерастворимого гидроксида:</p> $\text{NaOH} + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$	2 б.
	$v_2(\text{NaOH}) = v_1(\text{NaOH}) - v_{1,\text{прореагировало}}(\text{NaOH}) = v(\text{Na}) - v(\text{Al}) =$ $= 0,8 \text{ моль} - 0,1 \text{ моль} = 0,7 \text{ моль}$ $v_2(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = v(\text{Al}) = 0,1 \text{ моль}$	0,5 б.
	<p>Тогда количество HCl, которое необходимо для получения максимальной массы осадка:</p> $v(\text{HCl}) = v_2(\text{NaOH}) + v_2(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0,7 \text{ моль} + 0,1 \text{ моль} = 0,8 \text{ моль}$	0,5 б.
	<p>Тогда необходимый объем раствора соляной кислоты:</p> $V(\text{HCl}) = \frac{v(\text{HCl})}{c(\text{HCl})} = \frac{0,8 \text{ моль}}{0,5 \frac{\text{моль}}{\text{л}}} = 1,6 \text{ л}$	0,5 б.
	$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v_2(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = v(\text{Al}) = 0,1 \text{ моль}$ $m(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 78 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 7,8\text{г}$	0,5 б.
	<p>Примечание: принимаются и другие верные варианты решения, полностью соответствующие условию задачи.</p>	
Задача 2.	<p>Неизвестный металл A растворили в 200,0 г концентрированного раствора азотной кислоты при нагревании. При охлаждении полученного раствора образовался осадок B. Половину образовавшегося осадка прокалили при температуре 200°C до постоянной массы. В результате выделился газ с плотностью (при этой температуре и давлении 780 мм рт. ст.) равной 0,779 г/л, а масса твердого остатка составила 14,9 г. Вторую половину осадка B растворили в 400,0 г раствора хлорида натрия с массовой долей растворенного вещества 7,00%. В результате получили раствор C, в котором массовая доля хлорида натрия стала равна 6,29%. Раствор C подвергли электролизу с использованием инертных электродов при силе тока 20 А. Процесс продолжали до тех пор, пока объемы газов, выделившихся на катоде и аноде, не стали равны. После окончания электролиза, электроды вытащили из раствора, а раствор перемешали.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Определите состав раствора (% по массе) после перемешивания. • Чему была равна максимальная разница в объемах газов, выделившихся на электродах (при нормальных условиях)? Определите, через сколько минут после начала электролиза был достигнут этот момент. • Определите неизвестный металл A (подтвердите расчетами) и напишите 	21 б.

<p>уравнения реакций растворения металла A в концентрированном растворе азотной кислоты и термического разложения осадка B.</p> <ul style="list-style-type: none"> Запишите уравнения реакций для протекающих на электродах процессов в ходе электролиза либо в молекулярной форме, либо в виде полуреакций окисления и восстановления. <p>Заряд электрона $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.</p>		
<p>Решение:</p> <p>Сразу можно предположить, что осадок B является нитратом металла A, так как при растворении металлов в азотной кислоте обычно получаются нитраты этих металлов.</p>		
<p>Определим среднюю молярную массу газообразных продуктов разложения нитрата металла A.</p> <p>Из уравнения Клапейрона-Менделеева:</p> $p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$ $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$ $\bar{M} = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p} = \frac{779 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (273 + 200) \text{К}}{\frac{780 \text{ мм рт.ст.}}{760 \text{ мм рт.ст.}} \cdot 101325 \text{ Па}} = 29,46 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	1 б.	
<p>Полученное значение меньше молярной массы NO_2 и O_2, которые могут образовываться при разложении нитратов \Rightarrow осадок B является кристаллогидратом нитрата металла A.</p>	0,5 б.	
<p>Ионы натрия на катоде не восстанавливаются.</p> <p>Если A является активным металлом, то не происходит его восстановления на катоде, а вместо него восстанавливается вода:</p> $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ <p>При этом на 2 моль электронов выделяется 1 моль водорода.</p> <p>На аноде нитрат-ионы не восстанавливаются, а происходит восстановление хлорид-ионов:</p> $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \longrightarrow \text{Cl}_2$ <p>При этом на 2 моль электронов выделяется 1 моль хлора.</p> <p>В таком случае с самого начала будут выделяться одинаковые объемы газов, а когда закончатся хлорид-ионы, то на аноде будет происходить выделение кислорода:</p> $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ <p>(на 2 моль электронов 0,5 моль кислорода) и объем газа на аноде будет становиться меньше, чем на катоде.</p> <p>\Rightarrow A не может быть активным металлом.</p> <p>Если A - металл средней активности или неактивный металл, то на катоде будут параллельно протекать процессы восстановления металла и воды или только металла, а на аноде – окисление хлора. Тогда первоначально, объем газа на аноде будет больше, а когда ионы металла A закончатся и начнется только восстановление воды, а на аноде закончится выделения хлора и продолжится только выделение кислорода, то объем начнут сближаться и в какой-то момент станут равны.</p>		

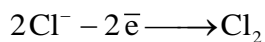
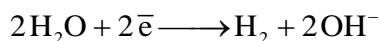
	<p>=> рассматриваем вариант металл средней активности и неактивного металла. Если разложение протекает с образованием NO₂ O₂ и H₂O без изменения степени окисления металла, тогда:</p> $M(NO_3)_x \cdot n H_2O \xrightarrow{t^0} \frac{1}{2} M_2O_x + x NO_2 + \frac{x}{4} O_2 + n H_2O$		
	<p>Выразим среднюю молярную массу газа для данного случая. Для удобства возьмем разложение 1 моль кристаллогидрата:</p> $\bar{M} = \frac{x \text{ моль} \cdot 46 \frac{\Gamma}{\text{моль}} + \frac{x}{4} \text{ моль} \cdot 32 \frac{\Gamma}{\text{моль}} + n \text{ моль} \cdot 18 \frac{\Gamma}{\text{моль}}}{x \text{ моль} + \frac{x}{4} \text{ моль} + n \text{ моль}} =$ $\frac{46 \cdot x + 8 \cdot x + 18 \cdot n}{1,25 \cdot x + n} \frac{\Gamma}{\text{моль}} = \frac{54 \cdot x + 18 \cdot n}{1,25 \cdot x + n} \frac{\Gamma}{\text{моль}} = 29,46 \frac{\Gamma}{\text{моль}}$ $\frac{54 \cdot x + 18 \cdot n}{1,25 \cdot x + n} = 29,46$ $54 \cdot x + 18 \cdot n = 36,825 \cdot x + 29,46 \cdot n$ $11,46 \cdot n = 17,175 \cdot x$ $n = 1,50 \cdot x$ <p>Можно предположить, что А – двухвалентный металл, а кристаллогидрат содержит 3 молекулы воды.</p> <p>Примечание: 1 б. за нахождения соотношения между валентностью металла и числом молекул воды в кристаллогидрате.</p>	1 б.	
	<p>По изменению массовой доли раствора с 7,00 до 6,29% находим массу растворенного кристаллогидрата:</p> $m_1(A(NO_3)_2 \cdot 3H_2O) = m_{2,p-p} - m_{1,p-p}$ <p>Так как масса хлорида натрия не меняется, то:</p> $m_{2,p-p} = \frac{m_{1,p-p} \cdot \omega_1(NaCl)}{\omega_2(NaCl)}$ $m_1(A(NO_3)_2 \cdot 3H_2O) = m_{2,p-p} - m_{1,p-p} = \frac{m_{1,p-p} \cdot \omega_1(NaCl)}{\omega_2(NaCl)} - m_{1,p-p} =$ $= \frac{400 \Gamma \cdot 0,0700}{0,0629} - 400 \Gamma = 45,15 \Gamma$ <p>По уравнению реакции разложения:</p> $A(NO_3)_2 \cdot 3H_2O \xrightarrow{t^0} AO + 2NO_2 + 0,5O_2 + 3H_2O$ $v(A(NO_3)_2 \cdot 3H_2O) = v(AO)$ <p>Пусть $M(A) = a \frac{\Gamma}{\text{моль}}$</p> <p>Тогда:</p> $\frac{45,15 \Gamma}{(a + 62 \cdot 2 + 18 \cdot 3) \frac{\Gamma}{\text{моль}}} = \frac{14,9 \Gamma}{(a + 16) \frac{\Gamma}{\text{моль}}}$ $\frac{45,15}{a + 62 \cdot 2 + 18 \cdot 3} = \frac{14,9}{a + 16}$	4 б.	

	$45,15 \cdot a + 722,4 = 14,9 \cdot a + 2652,2$ $30,25 \cdot a = 1929,8$ $a = 63,8 - \text{Cu} - \text{подходит по свойствам.}$ <p>Окончательное уравнение разложения:</p> $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^0} \text{CuO} + 2\text{NO}_2 + 0,5\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{конц}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>Примечание: 1 б. за нахождение неизвестного металла A (подтвержденное вычислениями); 1 б. за нахождение формулы кристаллогидрата; 2 б. за уравнения реакций.</p>		
	<p>Определяем количество вещества нитрата меди(II) и хлорида натрия в растворе для электролиза:</p> $m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-р}}(\text{NaCl}) \cdot \omega_1(\text{NaCl}) = 400,0 \text{ г} \cdot 0,0700 = 28,0 \text{ г}$ $v(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{28,0 \text{ г}}{58,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,4786 \text{ моль}$	0,5 б.	
	$v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = v_1(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_1(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})} =$ $= \frac{45,15 \text{ г}}{(64 + 62 \cdot 2 + 3 \cdot 18) \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{45,15 \text{ г}}{242 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,1866 \text{ моль}$	0,5 б.	
	<p>Уравнения процессов диссоциации:</p> $\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$ $v(\text{Cl}^-) = v(\text{NaCl}) = 0,4786 \text{ моль}$ $v(\text{Cu}^{2+}) = v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,1866 \text{ моль}$ <p>В первую очередь при электролизе будет происходить восстановление ионов меди(II) и окисление хлорид-ионов.</p> $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \longrightarrow \text{Cu}$ $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \longrightarrow \text{Cl}_2$ <p>Или в молекулярной форме:</p> $\text{CuCl}_2 \xrightarrow{\text{электролиз}} \text{Cu} + \text{Cl}_2 \uparrow$ $\frac{v(\text{Cl}^-)}{2} > \frac{v(\text{Cu}^{2+})}{1} \Rightarrow \text{первыми закончатся ионы меди(II).}$ <p>Для этого по внешней цепи от анода к катоду должно пройти электронов:</p> $v_1(\bar{e}) = v(\text{Cu}^{2+}) \cdot 2 = 0,1866 \text{ моль} \cdot 2 = 0,3732 \text{ моль}$ $v_1(\text{Cl}_2) = \frac{v_1(\bar{e})}{2} = \frac{0,3732 \text{ моль}}{2} = 0,1866 \text{ моль}$ <p>Количество оставшихся хлорид-ионов:</p>	6 б.	

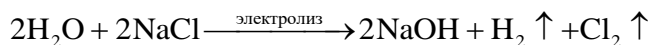
$$v_2(\text{Cl}^-) = v(\text{Cl}^-) - v_{\text{пр.1}}(\text{Cl}^-) = v(\text{Cl}^-) - 2 \cdot v(\text{Cu}^{2+}) =$$

$$= 0,4786 \text{ моль} - 2 \cdot 0,1866 \text{ моль} = 0,1054 \text{ моль}$$

Далее на катоде будет восстанавливаться вода, а на аноде продолжится окисление хлорид-ионов:



Или в молекулярной форме:



В этом процессе выделяются одинаковые объемы газов на катоде и аноде => разница объемов газов на катоде и аноде сохраняется неизменной.

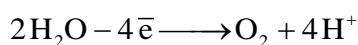
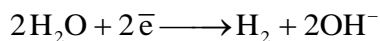
Для окончания этого этапа по внешней цепи от анода к катоду должно пройти электронов:

$$v_2(\bar{e}) = v_2(\text{Cl}^-) \cdot 1 = 0,1054 \text{ моль} \cdot 1 = 0,1054 \text{ моль}$$

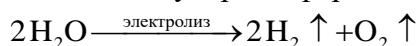
$$v_2(\text{Cl}_2) = \frac{v_2(\bar{e})}{2} = \frac{0,1054 \text{ моль}}{2} = 0,0527 \text{ моль}$$

$$v_2(\text{H}_2) = \frac{v_2(\bar{e})}{2} = \frac{0,1054 \text{ моль}}{2} = 0,0527 \text{ моль}$$

При дальнейшем пропускании электрического тока на катоде будет происходить восстановление воды, а на аноде – окисление воды:



Или в молекулярной форме:



В этом случае на катоде выделяется вдвое большее количество газа, чем на аноде, и разрыв в объемах газов начнет сокращаться.

Пусть количество выделяющегося кислорода в этом процессе $v_3(\text{O}_2) = y$ моль

Тогда количество выделяющегося водорода на этом этапе: $v_3(\text{H}_2) = 2 \cdot y$ моль

Чтобы объемы газов были одинаковы, необходимо, чтобы их количества были одинаковы (при одинаковых условиях).

Тогда:

$$v_2(\text{H}_2) + v_3(\text{H}_2) = v_1(\text{Cl}_2) + v_2(\text{Cl}_2) + v_3(\text{O}_2)$$

$$0,0527 \text{ моль} + 2 \cdot y \text{ моль} = 0,1866 \text{ моль} + 0,0527 \text{ моль} + y \text{ моль}$$

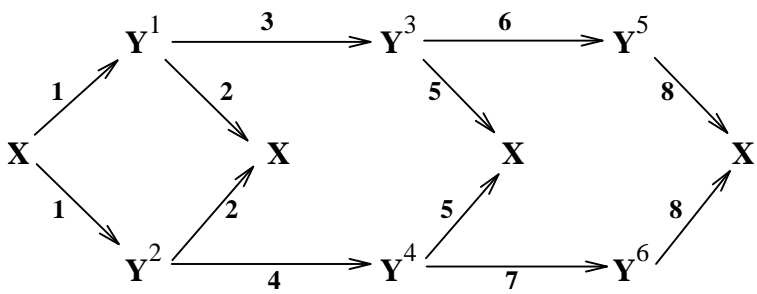
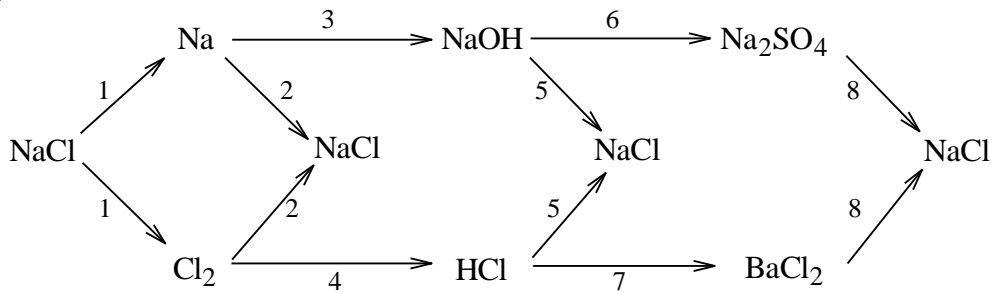
$$y = 0,1866$$

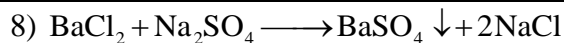
Примечание: нахождение количества вещества кислорода, которое выделяется в процессе электролиза (или другой величины, схожей по значимости в решении участника, нахождение которой основано на равенстве объемов газов на катоде и аноде) – 3 б. Уравнения процессов (молекулярные или полуреакции) – 3 б.

Тогда в растворе, после завершения электролиза будут присутствовать ионы Na^+ , NO_3^- и OH^- .

2 б.

$v(\text{Na}^+) = v(\text{NaCl}) = 0,4786 \text{ моль}$ $v(\text{NO}_3^-) = 2 \cdot v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 2 \cdot 0,1866 \text{ моль} = 0,3732 \text{ моль}$ $v(\text{OH}^-) = v_2(\bar{e}) = 0,1054 \text{ моль}$ <p>Тогда: $v(\text{NaNO}_3) = v(\text{NO}_3^-) = 0,3732 \text{ моль}$</p> $v(\text{NaOH}) = v(\text{OH}^-) = 0,1054 \text{ моль}$		
<p>Их массы:</p> $m(\text{NaNO}_3) = 0,3732 \text{ моль} \cdot 85 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 31,72 \text{ г}$ $m(\text{NaOH}) = 0,1054 \text{ моль} \cdot 40 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 4,22 \text{ г}$	0,5 б.	
<p>Определяем массу раствора. Масса выделившейся меди:</p> $m(\text{Cu}) = v(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = v(\text{Cu}^{2+}) \cdot M(\text{Cu}^{2+}) = 0,1866 \text{ моль} \cdot 64 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 11,94 \text{ г}$ <p>Масса выделившихся газов:</p> $m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2) = \frac{v(\text{Cl}^-)}{2} \cdot M(\text{Cl}_2) = \frac{0,4786 \text{ моль}}{2} \cdot 71 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 16,99 \text{ г}$ $m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = (v_2(\text{H}_2) + v_3(\text{H}_2)) \cdot M(\text{H}_2) =$ $= (0,0527 \text{ моль} + 2 \cdot 0,1866 \text{ моль}) \cdot 2 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,85 \text{ г}$ $m(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = v_3(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,1866 \text{ моль} \cdot 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 5,97 \text{ г}$ <p>Тогда</p> $m_{\text{р-р, конечный}} = m_{\text{р-р}}(\text{NaCl}) + m_1(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) - m(\text{Cu}) - m(\text{H}_2) - m(\text{O}_2) -$ $- m(\text{Cl}_2) = 400,0 \text{ г} + 45,15 \text{ г} - 11,94 \text{ г} - 0,85 \text{ г} - 5,97 \text{ г} - 16,99 \text{ г} = 409,40 \text{ г}$ <p>Примечание: 2,5 б. ставятся за правильное нахождение массы раствора. Существует множество вариантов нахождения массы. Любой из этих методов оценивается в те же 2,5 б.</p>	2,5 б.	
<p>Массовые доли веществ в конечном растворе:</p> $\omega_{\text{к}}(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m_{\text{р-р, конечный}}} = \frac{31,72 \text{ г}}{409,40 \text{ г}} = 0,0775 = 7,75\%$ $\omega_{\text{к}}(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_{\text{р-р, конечный}}} = \frac{4,22 \text{ г}}{409,40 \text{ г}} = 0,0103 = 1,03\%$	0,5 б.	
<p>Разница в объемах газов на катоде и аноде достигла своего максимального значения в момент, когда закончился процесс восстановления ионов Cu^{2+}. Далее разница в объемах какое-то время сохранялась постоянной, а затем, когда началось окисление воды на аноде, разница начала уменьшаться.</p> $\Delta V_{\text{max}} = V_1(\text{Cl}_2) = v_1(\text{Cl}_2) \cdot V_{\text{м}} = 0,1866 \text{ моль} \cdot 22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}} = 4,18 \text{ л}$ <p>Для того, чтобы все ионы меди(II) восстановились, должны были пройти по внешней цепи $v_1(\bar{e}) = v(\text{Cu}^{2+}) \cdot 2 = 0,3732 \text{ моль}$</p>	2 б.	

	<p>Их заряд</p> $ Q = q_e \cdot N_e = q_e \cdot \nu_1(\bar{e}) \cdot N_A =$ $= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,3732 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 35947 \text{ Кл}$ <p>Тогда при силе тока $I = 20 \text{ А}$ на это ушло:</p> $t = \frac{ Q }{I} = \frac{35947 \text{ Кл}}{20 \text{ А}} = \frac{35947 \text{ Кл}}{20 \frac{\text{Кл}}{\text{с}}} = 1797 \text{ с} = 30,0 \text{ мин}$ <p>Примечание: 1 б. за нахождение максимальной разницы в объемах; 1 б. за верный расчет времени.</p>		
	<p>Примечание: пожалуй, это самый долгий и подробный вариант решения. Принимается любой другой верный вариант решения, который соответствует всем условиям задачи.</p>		
<p>Задача 3.</p>	<p>Предложите неорганические вещества ($Y^1 - Y^6$ и X), способные участвовать в превращениях, показанных на схеме, и напишите уравнения соответствующих реакций (1 – 8), указывая условия их протекания.</p>  <p>Примечание: разные буквы обозначают разные вещества; разные цифры обозначают различные реакции.</p>		<p>13 б.</p>
	<p>Решение:</p> <p>Один из возможных ответов:</p>  <p>Примечание: по 0,5 б. за верные формулы веществ $Y^1 - Y^6$; 1 б. за формулу вещества X.</p>	<p>4 б.</p>	
	<p>1) $2\text{NaCl} \xrightarrow{\text{электролиз расплава}} 2\text{Na}(\text{катод}) + \text{Cl}_2(\text{анод})$</p>	<p>2 б.</p>	
	<p>2) $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{NaCl}$</p>	<p>1 б.</p>	
	<p>3) $2\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$</p>	<p>1 б.</p>	
	<p>4) $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} \xrightarrow{\text{в газовой фазе}} 2\text{HCl} + \text{S}$</p> <p>или</p> <p>$4\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{в водном растворе}} 8\text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$</p>	<p>1 б.</p>	
	<p>5) $\text{NaOH} + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$</p>	<p>1 б.</p>	
	<p>6) $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>1 б.</p>	
	<p>7) $2\text{HCl} + \text{Ba}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>1 б.</p>	



1 б.

Примечание: принимается и аналогично оценивается любой другой вариант решения, который полностью соответствует всем условиям.

Для реакций, которые оцениваются в 1 б.: 0,5 б. за верные формулы всех веществ и условия; 0,5 б. за все верные коэффициенты.

Для первой реакции, которая оценивается в 2 б.: 1 б. за верные формулы всех веществ и условия; 1 б. за все верные коэффициенты.

Другой вариант:

