

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ХИМИИ

Теоретический тур, 14 марта 2026 года, X-ый класс

Решения и схема оценивания

Сумма 100 б.

Задание	Содержание верного ответа и указания по оцениванию	Баллы	Всего баллов
Тест	<p>1. Алюминий растворяется в концентрированном растворе карбоната натрия. Напишите уравнение этой реакции.</p> <p>Ответ: $2Al + 2Na_2CO_3 + 8H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 2NaHCO_3 + 3H_2 \uparrow$</p> <p>Примечание: требуется только уравнение соответствующей реакции. По 2 б. за верное уравнение (1 б. за верные формулы всех веществ в уравнении; 1 б. за верные коэффициенты). Если участник дает несколько уравнений реакций, то оценивается уравнение, которое набирает наименьшее количество баллов.</p>	2 б.	34 б.
	<p>2. Напишите четыре уравнения реакций (по одному для каждого случая), в результате которых из 19,6 г H_2SO_4 получается оксид серы(IV) объемом (н.у.):</p> <p align="center">1) 2,24 л; 2) 4,48 л; 3) 6,72 л; 4) 8,96 л.</p> <p>Вариант решения:</p> <p>Количество серной кислоты одинаково во всех четырех случаях и равно:</p> $\nu(H_2SO_4) = \frac{m(H_2SO_4)}{M(H_2SO_4)} = \frac{19,6 \text{ г}}{98 \text{ г / моль}} = 0,2 \text{ моль}$ <p>Количество вещества SO_2 соответствующее каждому из 4-х случаев:</p> $\nu_1(SO_2) = \frac{2,24 \text{ л}}{22,4 \text{ л / моль}} = 0,1 \text{ моль} \Rightarrow \text{молярное соотношение } H_2SO_4 : SO_2 = 2 : 1$ $\nu_2(SO_2) = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л / моль}} = 0,2 \text{ моль} \Rightarrow \text{молярное соотношение } H_2SO_4 : SO_2 = 1 : 1$ $\nu_3(SO_2) = \frac{6,72 \text{ л}}{22,4 \text{ л / моль}} = 0,3 \text{ моль} \Rightarrow \text{молярное соотношение } H_2SO_4 : SO_2 = 2 : 3$ $\nu_4(SO_2) = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л / моль}} = 0,4 \text{ моль} \Rightarrow \text{молярное соотношение } H_2SO_4 : SO_2 = 1 : 2$ <p>Ответ:</p> <p>1) $Cu + 2H_2SO_4 (\text{конц}) = CuSO_4 + SO_2 \uparrow + 2H_2O$</p> <p>2) $Na_2SO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + SO_2 \uparrow + H_2O$</p> <p>3) $S + 2H_2SO_4 = 3SO_2 \uparrow + 2H_2O$</p> <p>4) $SCl_2 + H_2SO_4 = 2SO_2 \uparrow + 2HCl \uparrow$</p> <p>Примечание: требуются только уравнения соответствующих реакций. По 2 б.</p>	8 б.	

	<p>за верное уравнение соответствующее условиям (1,5 б. за верные формулы всех веществ в уравнении реакции; 0,5 б. за верные коэффициенты). Принимаются и другие верные варианты. Если участник для какого-то случая (1 – 4) дает несколько уравнений реакций, то оценивается уравнение, которое набирает наименьшее количество баллов.</p>		
	<p>3. Алгебраическая сумма валентности и степени окисления атома кислорода в ионе гидроксония равна: a) +1; b) -1; c) +2; d) -2.</p> <p>Ответ: а) +1</p> <p>Вариант решения: Ион гидроксония H_3O^+. Валентность атома кислорода равна 3. Степень окисления равна -2.</p> <p>Примечание: требуется только дать верный ответ; за верный ответ 1 б.</p>	1 б.	
	<p>4. Анион X^{3-} имеет электронную конфигурацию криптона (Kr). Этим элементом является: a) Y; b) As; c) Sc; d) Br.</p> <p>Ответ: b) As</p> <p>Вариант решения:</p> <p>$Kr \ 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$</p> <p>$X + 3e^- = X^{3-} \Rightarrow$ атом элемента X содержит на три электрона меньше \Rightarrow электронная конфигурация элемента $X \ 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3 \Rightarrow As$</p> <p>Примечание: требуется только дать верный ответ; за верный ответ 1 б.</p>	1 б.	
	<p>5. Напишите два варианта уравнений реакций, позволяющих осуществить превращения согласно ниже представленной схеме. В первом варианте все реакции должны протекать без изменения степеней окисления, а во втором варианте все реакции должны быть окислительно-восстановительными.</p> $Al(NO_3)_3 \longrightarrow X^1 \longrightarrow X^2 \longrightarrow Al(NO_3)_3$ <p>Вариант ответа:</p> <p>1)</p> <p>$X^1 - Al(OH)_3$; $X^2 - AlCl_3$</p> <p>$Al(NO_3)_3 + 3KOH = Al(OH)_3 \downarrow + 3KNO_3$</p> <p>$Al(OH)_3 + 3HCl = AlCl_3 + 3H_2O$</p> <p>$AlCl_3 + 3AgNO_3 = Al(NO_3)_3 + 3AgCl \downarrow$</p> <p>2)</p> <p>$X^1 - Al_2O_3$; $X^2 - Al$</p> <p>$4 Al(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2 Al_2O_3 + 12 NO_2 \uparrow + 3 O_2 \uparrow$</p> <p>$2 Al_2O_3 \xrightarrow[\text{(расплав)}]{\text{электролиз}} 4 Al + 3 O_2 \uparrow$</p>	9 б.	

	$8 \text{ Al} + 30 \text{ HNO}_{3(\text{оч. разб})} \longrightarrow 8 \text{ Al}(\text{NO}_3)_3 + 3 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + 9 \text{ H}_2\text{O}$ <p>Примечание: требуются только уравнения соответствующих реакций. По 1,5 б. за верное уравнение, соответствующее условию (1 б. за верные формулы всех веществ в схеме реакции; 0,5 б. за верные коэффициенты). Принимаются и другие верные варианты.</p> <p>Если участник дает несколько вариантов уравнений реакций для какого-то перехода, то оценивается уравнение реакции, которое набирает наименьшее количество баллов.</p>	
	<p>6. Для увеличения в 1,5 раза массовой доли $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в растворе необходимо к 300 г раствора сульфата аммония с массовой долей 5% добавить алюмо-аммонийные квасцы $(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$ или $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ массой (в г): а) 30; б) 53; с) 106; д) 456.</p> <p>Ответ: с) 106</p> <p>Вариант решения:</p> <p>Масса сульфата аммония в исходном растворе равна:</p> $m_1((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = m_1(p - pa) \cdot \omega_1((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 300 \text{ г} \cdot 0,05 = 15 \text{ г}$ <p>Для увеличения массовой доли $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в 1,5 раза необходимо добавить к этому раствору x моль $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Тогда масса квасцов составляет:</p> $m(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = M(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) \cdot \nu(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = 453 \cdot x \text{ г}$ <p>Количество вещества добавленного при этом сульфата аммония:</p> $\nu_{\text{доб}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,5 \cdot x \text{ моль}$ <p>Тогда масса $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в полученном растворе:</p> $m_2((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = m_1((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) + \nu_{\text{доб}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \cdot M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 15 \text{ г} + 0,5 \cdot x \text{ моль} \cdot 132 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = (15 + 66 \cdot x) \text{ г}$ <p>Масса полученного раствора:</p> $m_2(p - pa) = m_1(p - pa) + m(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = 300 \text{ г} + 453 \cdot x \text{ г} = (300 + 453 \cdot x) \text{ г}$ <p>По условию задачи, массовая доля $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в конечном растворе должна вырасти в 1,5 раза, т.е. составить 7,5%:</p> $\omega_2((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{m_2((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{m_2(p - pa)} = \frac{15 + 66 \cdot x}{300 + 453 \cdot x} = 0,075$ $15 + 66 \cdot x = 0,075 \cdot (300 + 453 \cdot x)$	2 б.

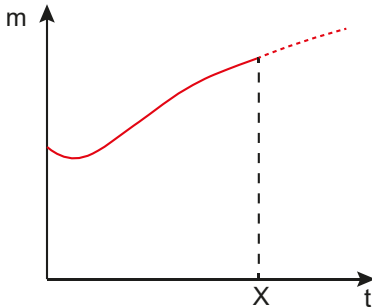
	$15 + 66 \cdot x = 22,5 + 33,975 \cdot x$ $32,025 \cdot x = 7,5$ $x = 0,2342$ <p>Тогда масса добавленных квасцов:</p> $m(NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O) = M(NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O) \cdot \nu(NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O) =$ $= 453 \cdot x \text{ г} = 453 \cdot 0,2342 \text{ г} = 106 \text{ г}$ <p>Примечание: необходимо дать только ответ; за правильный ответ 2 б.; за неправильный ответ или множественный вариант ответа – 0 б.</p>		
	<p>7. Расставьте стехиометрические коэффициенты в окислительно-восстановительной реакции:</p> $P_2S_3 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \xrightarrow{t} CrPO_4 \downarrow + SO_2 \uparrow + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$ <p>Ответ:</p> $3P_2S_3 + 11K_2Cr_2O_7 + 35H_2SO_4 \xrightarrow{t} 6CrPO_4 \downarrow + 9SO_2 \uparrow + 8Cr_2(SO_4)_3 + 11K_2SO_4 + 35H_2O$ <p>Вариант решения:</p> $\overset{+3}{P}_2\overset{-2}{S}_3 + \overset{+1}{K}_2\overset{+6}{Cr}_2\overset{-2}{O}_7 + \overset{+1}{H}_2\overset{+6}{S}\overset{-2}{O}_4 \xrightarrow{t} \overset{+3}{Cr}\overset{+5}{P}\overset{-2}{O}_4 \downarrow + \overset{+4}{S}\overset{-2}{O}_2 \uparrow + \overset{+3}{Cr}_2\overset{+6}{S}_3\overset{-2}{O}_{12} + \overset{+1}{K}_2\overset{+6}{S}\overset{-2}{O}_4 + \overset{+1}{H}_2\overset{-2}{O}$ $\left. \begin{array}{l} 2P^{+3} - 4e^- \longrightarrow 2P^{+5} \\ 3S^{-2} - 18e^- \longrightarrow 3S^{+4} \end{array} \right\} - 22e^- \quad 22 \quad \cdot 3$ $2Cr^{+6} + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{+3} \quad 6 \quad \cdot 11$ <p>Примечание: за все верные коэффициенты 2 б; частично верные коэффициенты – 0 б.</p>	2 б.	
	<p>8. Укажите по два исходных вещества в каждой из следующих схем реакций (указаны все продукты реакций без стехиометрических коэффициентов):</p> <p>1) ... + ... $\longrightarrow BaSO_4 \downarrow + H_2SO_4 + H_2O$ 2) ... + ... $\longrightarrow Ba(OH)_2 + H_2O$</p> <p>3) ... + ... $\longrightarrow Fe(NO_3)_3 + NO + HCl + H_2O$ 4) ... + ... $\longrightarrow AgI \downarrow + NH_4I + H_2O$</p> <p>Напишите уравнения соответствующих реакций.</p> <p>Вариант ответа:</p> <p>1) $Ba(HSO_3)_2 + 2H_2O_2 = BaSO_4 \downarrow + H_2SO_4 + 2H_2O$</p> <p>2) $BaH_2 + 2H_2O_2 = Ba(OH)_2 + 2H_2O$</p> <p>3) $3FeCl_2 + 10HNO_3 = 3Fe(NO_3)_3 + NO + 6HCl + 2H_2O$</p> <p>4) $[Ag(NH_3)_2]OH + 3HI = AgI \downarrow + 2NH_4I + H_2O$</p> <p>Примечание: по 1,5 б. за каждое из четырех уравнений, которые полностью соответствуют условию (1 б. за верные формулы всех веществ в уравнении; 0,5 б. за верные коэффициенты). Принимаются и другие верные варианты.</p>	6 б.	
	<p>9. Массовая доля атомов кислорода в составе ржавчины $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ равна</p>	2 б.	

	<p>40,82%. Укажите числовое значение величины n.</p> <p>Ответ: $n = 2$.</p> <p>Вариант решения:</p> $\omega(O) = \frac{(3+n) \cdot M_r(O)}{M_r(Fe_2O_3 \cdot nH_2O)} = \frac{(3+n) \cdot 16}{56 \cdot 2 + 16 \cdot 3 + n \cdot (2 \cdot 1 + 16)} = \frac{48 + 16 \cdot n}{160 + 18 \cdot n} = 0,4082$ $48 + 16 \cdot n = 65,312 + 7,3476 \cdot n$ $8,6524 \cdot n = 17,312$ $n = 2$ <p>Примечание: требуется только указать верное значение n. За верный ответ – 2 б.; за множественный вариант ответа – 0 б.</p>		
	<p>10. К 100 мл раствора сульфата железа(II) с концентрацией 0,1 моль/л добавили 100 мл раствора неизвестной соли такой же концентрации, получив в результате 1,52 г осадка. Укажите формулу выпавшей в осадок соли.</p> <p>Ответ: $FeHPO_4$</p> <p>Вариант решения:</p> <p>Масса $FeSO_4$ вступившего в реакцию, составляет:</p> $m(FeSO_4) = \nu(FeSO_4) \cdot M(FeSO_4) = c(FeSO_4) \cdot V_{p-p}(FeSO_4) \cdot M(FeSO_4) =$ $= 0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,1 \text{ л} \cdot 152 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 1,52 \text{ г}$ <p>Массы сульфата железа и соли, выпавшей в осадок, равны. Одним из вариантов является полное осаждение соли железа(II) анионом неизвестной соли. В таком случае, молярная масса в расчете на один атом железа равна молярной массе $FeSO_4$, т.е. 152 г/моль. Такой солью является гидрофосфат железа $FeHPO_4$.</p> <p>Примечание: 1 б. за верную формулу выпавшей в осадок соли. Принимаются и другие верные варианты.</p>	1 б.	
Задача 1.	<p>При растворении в воде 100 г кристаллогидрата некоторой соли натрия получили 500 мл раствора соли с концентрацией 0,621 моль/л. При длительном прокаливании ($\sim 300^\circ\text{C}$) навески этого кристаллогидрата потеря массы твердого вещества составила 55,9%. Установите формулу кристаллогидрата. Покажите ваши расчеты.</p>		5 б.
	<p>Решение:</p> <p>Определяем количество вещества соли (X) в полученном растворе:</p> $\nu(X) = V(p - pa) \cdot c(X) = 0,5 \text{ л} \cdot 0,621 \frac{\text{моль}}{\text{л}} = 0,3105 \text{ моль}$	1 б.	
	<p>Предполагая формулу кристаллогидрата $(X \cdot nH_2O)$, где n - число молекул H_2O, приходящееся на 1 моль соли X, и зная массу кристаллогидрата определяем молярную массу:</p>	1 б.	

	$M(X \cdot nH_2O) = \frac{m(X \cdot nH_2O)}{\nu(X \cdot nH_2O)} = \frac{m(X \cdot nH_2O)}{\nu(X)} = \frac{100 \text{ г}}{0,3105 \text{ моль}} = 322 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$		
	<p>Потеря массы при длительном прокаливании составила 55,9%, что может быть связано с потерей молекул воды, если при прокаливании не происходит разложения соли. Т.е. $\omega(H_2O) = 55,9\%$</p> <p>Тогда число молекул воды в кристаллогидрате:</p> $n = \frac{M(X \cdot n(H_2O)) \cdot \omega(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{322 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0,559}{18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 10$	1 б.	
	<p>Тогда молярная масса соли:</p> $M(X) = M(X \cdot 10H_2O) - 10 \cdot M(H_2O) = 322 \frac{\text{г}}{\text{моль}} - 10 \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 142 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ <p>Методом подбора находим, что данная молярная масса соответствует сульфату натрия.</p>	1 б.	
	Ответ: $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	1 б.	
Задача 2.	<p>Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений, указав условия их протекания:</p> $NaCl \xrightarrow{1} X^1 \xrightarrow{2} O_2 \xrightarrow{3} X^2 \xrightarrow{4} K_2CO_3 \xrightarrow{5} X^3 \xrightarrow{6} CaO \xrightarrow{7} X^4 \xrightarrow{8} \xrightarrow{8} NH_3 \xrightarrow{9} X^5 \xrightarrow{10} K_3[Al(OH)_6] \xrightarrow{11} X^6 \xrightarrow{12} K_2S$	18 б.	
	Решение:		
	Один из возможных вариантов формул для веществ $X^1 - X^6$:		
	$X^1 - NaNO_3; X^2 - CO_2; X^3 - K_2CO_3; X^4 - Ca(OH)_2; X^5 - KNO_3; X^6 - K_2SO_3.$		
	1) $NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl \downarrow$		
	2) $2NaNO_3 \xrightarrow{t} 2NaNO_2 + O_2 \uparrow$		
	3) $C + O_2 = CO_2$		
	4) $2KOH + CO_2 = K_2CO_3 + H_2O$		
	5) $K_2CO_3 + CaCl_2 = CaCO_3 \downarrow + 2KCl$		
	6) $CaCO_3 \xrightarrow{t} CaO + CO_2 \uparrow$		
	7) $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$		
	8) $Ca(OH)_2 + 2NH_4Cl \xrightarrow{t} CaCl_2 + 2NH_3 \uparrow + 2H_2O$		
	9) $NH_3 + 8KMnO_4 + 9KOH = KNO_3 + 8K_2MnO_4 + 6H_2O$		
	10) $3KNO_3 + 8Al + 21KOH + 18H_2O \xrightarrow{t} 3NH_3 \uparrow + 8K_3[Al(OH)_6]$		
	<p>Другой вариант записи:</p> $3KNO_3 + 8Al + 21KOH + 21H_2O = 3NH_4OH + 8K_3[Al(OH)_6]$		

	<div>11) $2K_3[Al(OH)_6] + 3SO_2 = 3K_2SO_3 + 2Al(OH)_3 \downarrow$</div> <div>12) $4K_2SO_3 \xrightarrow{t} K_2S + 3K_2SO_4$</div> <div>Еще один интересный вариант для $X^2 - KO_2$. Тогда уравнения реакций: 3) $K + O_2 = KO_2$ 4) $4KO_2 + 2CO_2 = 2K_2CO_3 + 3O_2 \uparrow$</div> <div>Еще один простой вариант для $X^5 - Al(OH)_3$. Тогда уравнения реакций: 9) $3NH_3 + AlCl_3 + 3H_2O = Al(OH)_3 \downarrow + 3NH_4Cl$ 10) $Al(OH)_3 + 3KOH = K_3[Al(OH)_6]$</div> <div>Примечание: принимаются любые верные варианты уравнений реакций, полностью соответствующие условию. В случае множественного варианта для какого-либо перехода, оценивается вариант, набирающий наименьшее количество баллов. За каждое верное уравнение реакции по 1,5 б. (1 б. за верные формулы всех веществ в уравнении реакции; 0,5 б. за верные коэффициенты).</div>	
Задача 3.	<div>Смесь массой 42 г, состоящую из пирита (FeS_2) и сульфида алюминия, растворили в 605,5 мл горячего раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл) с массовой долей растворенного вещества 60%. В результате выделилось 148,7 л бурого газа (27°C; 105,6 кПа). Полученный раствор обработали избытком водного раствора гидроксида натрия. Рассчитайте массу образовавшегося осадка и массовые доли веществ в исходной смеси. Покажите ваши расчеты и рассуждения. Напишите уравнения всех протекающих реакций.</div> <div>Решение: При растворении смеси FeS_2 и Al_2S_3 в горячей концентрированной азотной кислоте протекают следующие реакции: $FeS_2 + 18HNO_3 = 15NO_2 \uparrow + Fe(NO_3)_3 + 2H_2SO_4 + 7H_2O$ $Al_2S_3 + 30HNO_3 = 24NO_2 \uparrow + 2Al(NO_3)_3 + 3H_2SO_4 + 12H_2O$ Примечание: за каждое верное уравнение реакции по 2 б. (1 б. за верные формулы всех веществ в уравнении реакции; 1 б. за верные коэффициенты).</div> <div>Определяем количество вещества бурого газа: $p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$ $\nu(NO_2) = \frac{p(NO_2) \cdot V(NO_2)}{R \cdot T(NO_2)} = \frac{105,6 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 0,1487 \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (273 + 27) \text{ К}} = 6,30 \text{ моль}$</div> <div>Предполагаем, что азотная кислота находится в избытке.</div> <div>Введем обозначения:</div>	<div>18 б.</div> <div>4 б.</div> <div>1 б.</div>

$\nu(FeS_2) = x \text{ моль}$ $\nu(Al_2S_3) = y \text{ моль}$	
<p>Тогда масса смеси:</p> $m(\text{смеси}) = m(FeS_2) + m(Al_2S_3) = \nu(FeS_2) \cdot M(FeS_2) + \nu(Al_2S_3) \cdot M(Al_2S_3) =$ $= x \text{ моль} \cdot 120 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + y \text{ моль} \cdot 150 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = (120 \cdot x + 150 \cdot y) \text{ г} = 42 \text{ г}$ <p>Количество вещества выделившегося NO_2:</p> $\nu(NO_2) = (15 \cdot x + 24 \cdot y) \text{ моль} = 6,30 \text{ моль}$	1 б.
<p>Решаем систему уравнений:</p> $\begin{cases} 120 \cdot x + 150 \cdot y = 42 \\ 15 \cdot x + 24 \cdot y = 6,30 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 120 \cdot x + 150 \cdot y = 42 \\ 120 \cdot x + 192 \cdot y = 50,4 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 120 \cdot x + 150 \cdot y = 42 \\ 42 \cdot y = 8,4 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = 0,1 \\ y = 0,2 \end{cases}$	2 б.
<p>Примечание: всего 3 б. дается за нахождения количества (по 1 б. для $\nu(NO_2)$; $\nu(FeS_2)$ и $\nu(Al_2S_3)$).</p>	
<p>Тогда массовые доли веществ в исходной смеси:</p> $\omega(FeS_2) = \frac{m(FeS_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{120 \cdot x \text{ г}}{m(\text{смеси})} = \frac{120 \cdot 0,1 \text{ г}}{42} = 0,2857 = 28,57\%$ $\omega(Al_2S_3) = \frac{m(Al_2S_3)}{m(\text{смеси})} = \frac{150 \cdot y \text{ г}}{m(\text{смеси})} = \frac{150 \cdot 0,2 \text{ г}}{42} = 0,7143 = 71,43\%$	1 б.
<p>Количество израсходованной азотной кислоты:</p> $\nu_{np}(HNO_3) = (18 \cdot x + 30 \cdot y) \text{ моль} = (18 \cdot 0,1 + 30 \cdot 0,2) \text{ моль} = 7,8 \text{ моль}$	1 б.
<p>Исходное количество HNO_3:</p> $\nu_0(HNO_3) = \frac{m_0(HNO_3)}{M(HNO_3)} = \frac{m_0(p - pa) \cdot \omega_0(HNO_3)}{M(HNO_3)} =$ $= \frac{V_0(p - pa) \cdot \rho_0(p - pa) \cdot \omega_0(HNO_3)}{M(HNO_3)} = \frac{605,5 \text{ мл} \cdot 1,37 \frac{\text{г}}{\text{мл}} \cdot 0,60}{63 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 7,9 \text{ моль}$	1 б.
<p>Оставшееся в избытке количество HNO_3:</p> $\nu_{изб}(HNO_3) = \nu_0(HNO_3) - \nu_{np}(HNO_3) = 7,9 \text{ моль} - 7,8 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}$ <p>Примечание: требуется показать, что азотная кислота находилась в избытке.</p>	1 б.
<p>При обработке полученного раствора избытком щелочи протекают следующие реакции:</p> $HNO_3 + NaOH = NaNO_3 + H_2O$ $H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O$ $Fe(NO_3)_3 + 3NaOH = Fe(OH)_3 \downarrow + 3NaNO_3$	4 б.

	$Al(NO_3)_3 + 4NaOH = Na[Al(OH)_4] + 3NaNO_3$ <p>Примечание: по 1 б. за каждое уравнение реакции.</p>		
	<p>В осадке остается только $Fe(OH)_3$:</p> $\nu(Fe(OH)_3) = \nu(FeS_2) = 0,1 \text{ моль}$ $m(Fe(OH)_3) = \nu(Fe(OH)_3) \cdot M(Fe(OH)_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 107 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 10,7 \text{ г}$	2 б.	
	<p>Ответ: $\omega(FeS_2) = 28,57\%$ $\omega(Al_2S_3) = 71,43\%$ $m(Fe(OH)_3) = 10,7 \text{ г}$</p>		
<p>Задача 4.</p>	<p>Железную пластинку массой 14,28 г опустили в 200 мл раствора, содержащего следующие нитраты: $Fe(NO_3)_2$ ($c = 0,10$ моль/л), $Fe(NO_3)_3$ ($c = 0,12$ моль/л), $Cu(NO_3)_2$ ($c = 0,14$ моль/л), $Zn(NO_3)_2$ ($c = 0,16$ моль/л), $AgNO_3$ ($c = 0,18$ моль/л), $Pb(NO_3)_2$ ($c = 0,20$ моль/л). Зависимость массы пластинки с течением времени схематично представлено следующим графиком:</p>  <p>В момент времени X, пластинку вытащили из раствора. Ее масса составила 16,63 г. Объем раствора довели дистиллированной водой обратно до 200 мл, получив раствор Y.</p> <p>4.1. Рассчитайте молярные концентрации всех ионов в растворе Y, пренебрегая процессами гидролиза и автопротолиза.</p> <p>4.2. Напишите уравнения всех протекавших реакций.</p> <p>Из раствора Y взяли две пробы по 50 мл каждая и поместили в два последовательно соединенных между собой электролизера. В первом электролизере использовали платиновые электроды, а во втором – медные. Электролиз продолжали до тех пор, пока масса анода во втором электролизере не уменьшилась на 0,0992 г.</p> <p>4.3. Напишите уравнения полуреакций, протекающих на электродах в каждом электролизере, обязательно указав, в каком электролизере и на каком электроде (катоде или аноде), протекала данная полуреакция.</p> <p>После окончания электролиза объем раствора из первого электролизера довели дистиллированной водой до 100 мл и перемешали, получив раствор F1. Аналогично, объем раствора из второго электролизера довели до 100 мл, получив раствор F2.</p> <p>4.4. Рассчитайте молярные концентрации всех ионов в растворе F1, пренебрегая процессами гидролиза и автопротолиза.</p> <p>4.5. Определите молярные концентрации всех ионов в растворе F2, пренебрегая процессами гидролиза и автопротолиза.</p>	25 б.	
	<p>Решение:</p>		

<p>Железо способно восстанавливать из раствора ионы Fe^{3+}, Cu^{2+}, Ag^+, Pb^{2+}.</p> <p>Запишем уравнения этих реакций в ионной форме:</p> $2Fe^{3+} + Fe = 3Fe^{2+} \quad (I)$ $Cu^{2+} + Fe = Cu + Fe^{2+} \quad (II)$ $2Ag^+ + Fe = 2Ag + Fe^{2+} \quad (III)$ $Pb^{2+} + Fe = Pb + Fe^{2+} \quad (IV)$ <p>Если в каждую реакцию вступают по 1 моль Fe, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в случае протекания первой реакции масса пластинки уменьшается на 56 г (Fe реагирует, но при этом не происходит выделения металла на пластинке); - во второй реакции масса увеличивается на $64 - 56 = 8$ г; - в третьей реакции масса увеличивается на $(2 \cdot 108 - 56) = 160$ г; - в четвертой реакции масса увеличивается на $(207 - 56) = 151$ г. <p>Получается, что только в случае первой реакции масса пластинки уменьшается \Rightarrow в первую очередь протекает первая реакция (а может и параллельно, но с преобладанием именно первой реакции).</p>	
Начальное количество вещества Fe^{3+}	0,5 б.
$\nu_0(Fe^{3+}) = c_0(Fe(NO_3)_3) \cdot V_0 = 0,12 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,2 \text{ л} = 0,024 \text{ моль}$	
Если весь Fe^{3+} прореагирует, то количество вещества прореагировавшего железа:	
$\nu_{I,пр}(Fe) = \frac{\nu_0(Fe^{3+})}{2} = \frac{0,024 \text{ моль}}{2} = 0,012 \text{ моль}$	
Изменение массы пластинки составит:	
$\Delta m_{I,пл} = -\nu_{I,пр}(Fe) \cdot 56 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = -0,672 \text{ г}$	
<p>Так как конечная масса пластинки больше начальной, то, очевидно, должна протекать какая-то реакция, которая приведет к увеличению массы пластинки.</p> <p>Из ионов Cu^{2+}, Ag^+, Pb^{2+} наиболее сильными окислительными свойствами обладают ионы серебра \Rightarrow второй должна протекать реакция (III).</p>	
Начальное количество вещества Ag^+	0,5 б.
$\nu_0(Ag^+) = c_0(AgNO_3) \cdot V_0 = 0,18 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,2 \text{ л} = 0,036 \text{ моль}$	
Если все ионы серебра прореагируют, то количество вещества прореагировавшего железа:	

$\nu_{III, np}(Fe) = \frac{\nu_0(Ag^+)}{2} = \frac{0,036 \text{ моль}}{2} = 0,018 \text{ моль}$		
<p>Изменение массы пластинки составит:</p> $\Delta m_{III, nl} = -\nu_{III, np}(Fe) \cdot M(Fe) + \nu_0(Ag) \cdot M(Ag) =$ $= -0,018 \text{ моль} \cdot 56 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 0,036 \text{ моль} \cdot 108 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 2,88 \text{ г}$		
<p>Тогда масса пластинки должна стать равной:</p> $m_{I, III}(nl) = m_0(nl) + \Delta m_{I, nl} + \Delta m_{III, nl} =$ $= 14,28 \text{ г} - 0,672 \text{ г} + 2,88 \text{ г} = 16,488 \text{ г}$ <p>Это меньше реальной массы пластинки => должна протекать и следующая реакция. Следующим по окислительным свойствам является ион Cu^{2+} => протекает реакция (II).</p>		
<p>Начальное количество вещества Cu^{2+}</p> $\nu_0(Cu^{2+}) = c_0(Cu(NO_3)_2) \cdot V_0 = 0,14 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,2 \text{ л} = 0,028 \text{ моль}$		
<p>Если все ионы меди прореагируют, то количество вещества прореагировавшего железа:</p> $\nu_{II, np}(Fe) = \nu_0(Cu^{2+}) = 0,028 \text{ моль}$		
<p>Изменение массы пластинки составит:</p> $\Delta m_{II, nl} = -\nu_{II, np}(Fe) \cdot M(Fe) + \nu_0(Cu) \cdot M(Cu) =$ $= -0,028 \text{ моль} \cdot 56 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 0,028 \text{ моль} \cdot 64 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,224 \text{ г}$		
<p>Тогда масса пластинки должна стать равной:</p> $m_{I, II, III}(nl) = m_0(nl) + \Delta m_{I, nl} + \Delta m_{III, nl} + \Delta m_{II, nl} =$ $= 14,28 \text{ г} - 0,672 \text{ г} + 2,88 \text{ г} + 0,224 \text{ г} = 16,712 \text{ г}$ <p>Это больше реальной массы пластинки => не все ионы меди реагируют => реакция (IV) не протекает совсем.</p>		
<p>Пусть в реакцию (II) вступает x моль Cu^{2+}. Тогда масса конечной пластинки:</p> $m_{\kappa.}(nl) = m_0(nl) + \Delta m_{I, nl} + \Delta m_{III, nl} + (M(Cu) \cdot x \text{ моль} - M(Fe) \cdot x \text{ моль}) =$ $= 14,28 \text{ г} - 0,672 \text{ г} + 2,88 \text{ г} + (64 - 56) \cdot x \text{ г} = (16,488 + 8x) \text{ г} = 16,63 \text{ г}$ $16,488 + 8x = 16,63$	1 б.	

	$8x = 0,142$ $x = 0,01775$	
	<p>Тогда в конечном растворе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - содержатся катионы Zn^{2+} (количество не изменилось); - содержатся Pb^{2+} (количество не изменилось); - содержатся Cu^{2+} (количество уменьшилось на 0,01775 моль); - содержатся Fe^{2+} (количество увеличилось на $\nu_0(Fe^{3+}) \cdot \frac{3}{2} + \frac{\nu_0(Ag^+)}{2} + \nu_{np}(Cu^{2+})$); - не содержатся катионы Ag^+ и Fe^{3+}; - количество нитрат-ионов не изменилось. 	
	<p>4.1. Так как объем конечного раствора был доведен до начального объема, то:</p> $c(Zn^{2+}) = c_0(Zn(NO_3)_2) = 0,16 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	0,5 б.
	$c(Pb^{2+}) = c_0(Pb(NO_3)_2) = 0,20 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	0,5 б.
	$\nu(Cu^{2+}) = \nu_0(Cu^{2+}) - 0,01775 \text{ моль} = (0,028 - 0,01775) \text{ моль} = 0,01025 \text{ моль}$ $c(Cu^{2+}) = \frac{\nu(Cu^{2+})}{V} = \frac{0,01025 \text{ моль}}{0,2 \text{ л}} = 0,05125 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	1 б.
	$\begin{aligned} \nu(Fe^{2+}) &= \nu_0(Fe^{2+}) + \nu_0(Fe^{3+}) \cdot \frac{3}{2} + \frac{\nu_0(Ag^+)}{2} + \nu_{np}(Cu^{2+}) = \\ &= 0,10 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,2 \text{ л} + 0,024 \text{ моль} \cdot \frac{3}{2} + \frac{0,036 \text{ моль}}{2} + 0,01775 \text{ моль} = \\ &= 0,09175 \text{ моль} \end{aligned}$ $c(Fe^{2+}) = \frac{\nu(Fe^{2+})}{V} = \frac{0,09175 \text{ моль}}{0,2 \text{ л}} = 0,45875 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	2 б.
	$\begin{aligned} c(NO_3^-) &= c_0(NO_3^-) = 2 \cdot c_0(Fe(NO_3)_2) + 3 \cdot c_0(Fe(NO_3)_3) + 2 \cdot c_0(Cu(NO_3)_2) + \\ &+ 2 \cdot c_0(Zn(NO_3)_2) + 1 \cdot c_0(AgNO_3) + 2 \cdot c_0(Pb(NO_3)_2) = \\ &= (2 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,12 + 2 \cdot 0,14 + 2 \cdot 0,16 + 1 \cdot 0,18 + 2 \cdot 0,20) \frac{\text{моль}}{\text{л}} = 1,74 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \end{aligned}$	1 б.
Примечание: 7 б. за верное решение пункта 4.1.		
	<p>4.2. Уравнения протекавших реакций:</p> $2Fe^{3+} + Fe = 3Fe^{2+}$ $2Ag^+ + Fe = 2Ag + Fe^{2+}$ $Cu^{2+} + Fe = Cu + Fe^{2+}$	3 б.
	<p>4.3. Во втором электролизере:</p>	2 б.

<p>На катоде: $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$</p> <p>На аноде: $Cu - 2e^- = Cu^{2+}$</p>		
<p>Тогда убыль массы анода второго электролизера равна массе прореагировавшей меди.</p> $\nu_{\text{э2,пр}}(Cu) = \frac{ \Delta m(\text{анод}) }{M(Cu)} = \frac{0,0992 \text{ г}}{64 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$ <p>Тогда количество вещества электронов, прошедшее по внешней цепи:</p> $\nu(e^-) = 2 \cdot \nu_{\text{э2,пр}}(Cu) = 2 \cdot 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$ <p>Такое же количество электронов участвует в процессах на катоде и аноде и в первом и во втором электролизере.</p>	1 б.	
<p>В первом электролизере на катоде в первую очередь будет происходить восстановление ионов Cu^{2+}.</p> <p>Количество вещества ионов меди в 50 мл раствора (четверть от общего объема 200 мл):</p> $\nu_{50 \text{ мл}}(Cu^{2+}) = \frac{\nu(Cu^{2+})}{4} = \frac{0,01025 \text{ моль}}{4} = 2,5625 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$	1 б.	
<p>На их полное восстановление потребуется электронов:</p> $\nu_{\text{необх}}(e^-) = 2 \cdot \nu_{50 \text{ мл}}(Cu^{2+}) = 2 \cdot 2,5625 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 5,125 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$ <p>Это больше, чем успело пройти \Rightarrow единственным процессом на катоде будет восстановление ионов Cu^{2+}.</p>	1 б.	
<p>На катоде: $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$</p>	1 б.	
<p>Тогда оставшееся количество ионов меди в растворе:</p> $\nu_{F1}(Cu^{2+}) = \nu(Cu^{2+}) - \frac{\nu(e^-)}{2} = 2,5625 \cdot 10^{-3} \text{ моль} - \frac{3,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль}}{2} = 1,0125 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$	1 б.	
<p>Нитрат-ионы не подвергаются окислению на аноде \Rightarrow происходит окисление воды. На аноде: $2H_2O - 4e^- = 4H^+ + O_2$</p>	1 б.	
<p>Тогда количество вещества ионов H^+:</p> $\nu_{F1}(H^+) = \frac{\nu(e^-)}{4} \cdot 4 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$	1 б.	
Примечание: всего 9 б. за выполнение задания 4.3.		
<p>4.4. Концентрации ионов после доведения объема раствора до 100 мл:</p> $c_{F1}(Zn^{2+}) = \frac{c(Zn^{2+})}{2} = \frac{0,16 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,08 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	3 б.	

	$c_{F1}(Pb^{2+}) = \frac{c(Pb^{2+})}{2} = \frac{0,20 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,10 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F1}(Fe^{2+}) = \frac{c(Fe^{2+})}{2} = \frac{0,45875 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,229375 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F1}(NO_3^-) = \frac{c(NO_3^-)}{2} = \frac{1,74 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,87 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F1}(Cu^{2+}) = \frac{v_{F1}(Cu^{2+})}{V_{F1}} = \frac{1,0125 \cdot 10^{-3} \text{ моль}}{0,1 \text{ л}} = 0,010125 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F1}(H^+) = \frac{v_{F1}(H^+)}{V_{F1}} = \frac{3,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль}}{0,1 \text{ л}} = 0,031 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ <p>Разумные округления приветствуются.</p>		
	<p>4.5. Электролиз во втором растворе не приводит к изменению количества ионов в растворе, так как происходит перенос меди с анода на катод.</p> <p>Поэтому изменение концентраций во втором электролизере будет связано лишь с разбавлением после электролиза.</p> $c_{F2}(Zn^{2+}) = \frac{c(Zn^{2+})}{2} = \frac{0,16 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,08 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F2}(Pb^{2+}) = \frac{c(Pb^{2+})}{2} = \frac{0,20 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,10 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F2}(Fe^{2+}) = \frac{c(Fe^{2+})}{2} = \frac{0,45875 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,229375 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F2}(NO_3^-) = \frac{c(NO_3^-)}{2} = \frac{1,74 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,87 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ $c_{F2}(Cu^{2+}) = \frac{c(Cu^{2+})}{2} = \frac{0,05125 \frac{\text{моль}}{\text{л}}}{2} = 0,025625 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ <p>Разумные округления приветствуются.</p>	3 б.	