

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада ОРМО
с международным участием 2024-2025 гг.
ХИМИЯ
9 класс
Заключительный этап
Решения и критерии оценивания

9 -1

Элемент X образует несколько оксидов. Оксид А – существует только при температурах меньше 0 °С, в жидком состоянии ярко-синего цвета; оксид В – легколетучие бесцветные гигроскопичные кристаллы, разлагаются при комнатной температуре. Оксид С – бесцветные кристаллы, это димер оксида D – легколетучей жидкости бурого цвета. Оксиды С и D всегда находятся в равновесии, но при низких температурах преобладает С, при высоких – D. Соотношение элементов в оксидах подчиняется закону кратных отношений: на 1,75 г элемента приходится 3 (А), 4 (С, D) и 5 (В) г кислорода.

Оксиды А и В являются ангидридами кислородсодержащих кислот (Е и F соответственно) элемента X, которые могут быть получены при их растворении в воде. При взаимодействии на холоде оксида С с водой образуются две кислоты Е и F.

При реакции оксидов А и В с избытком раствором гидроксида натрия образуются соли кислородсодержащих кислот элемента X.

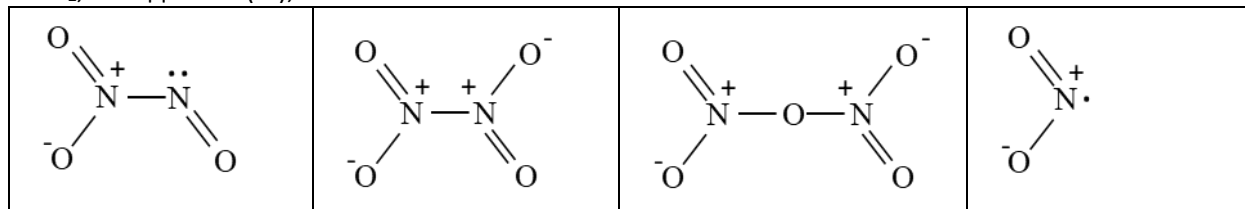
1. Назовите элемент X и оксиды А, В, С и D. Ответ подтвердите расчетом. Запишите структурно-графические формулы оксидов, укажите степени окисления элемента X.
2. Запишите уравнения получения кислородсодержащих кислот Е и F. Назовите их и запишите структурно-графические формулы.
3. Запишите уравнение реакции взаимодействия оксидов А, В и С с раствором гидроксида натрия. Вычислите массовую долю соли в растворе, который образовался после растворения 21,6 г оксида В в 86 мл 16 % (масс.) раствора гидроксида натрия (плотность раствора 1,1751 г/мл). Изменение объема не учитывать.

Решение:

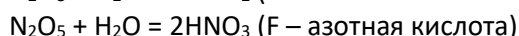
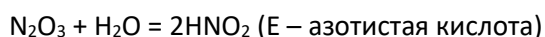
1.

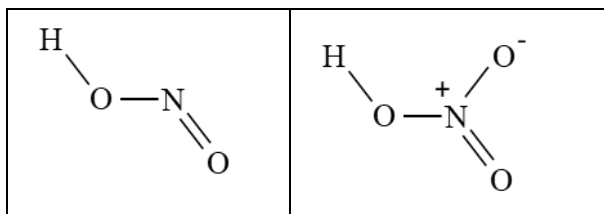
Соотношение масс X:O равно 1,75:3, с учетом атомной массы кислорода 28:48 для оксида А, 1,75:4 или 28:64 оксида С и 1,75:5 или 28:80 для оксида В. Элемент X, это неметалл, т.к. образует кислородсодержащие кислоты, его атомная масса должна быть кратна 28, т.е. 14, 28, 42 и т.д. Это N.

А – N₂O₃, оксид азота (III), с.о. +3. С – N₂O₄, оксид азота (IV), с.о.+4. В – N₂O₅, оксид азота (V), с.о.+5. D – NO₂, оксид азота (IV), с.о.+4.

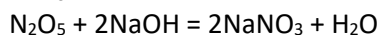
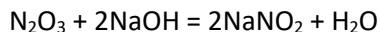


2.





3.



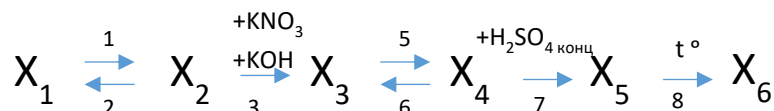
$n(\text{N}_2\text{O}_5) = 21,6/108 = 0,2$ (моль), $m(\text{p-ра}) = 86 \cdot 1,1751 = 101$ (г), $m(\text{NaOH}) = 0,16 \cdot 101 = 16,16$ (г). $n(\text{NaOH}) = 16,16/40 = 0,404$ (моль). Гидроксид в избытке. $n(\text{NaNO}_3) = 0,4$ (моль), $m(\text{NaNO}_3) = 0,4 \cdot 85 = 34$ (г).

$m(\text{p-ра})$ по исходным = $101 + 21,6 = 122,6$ (г), $m(\text{p-ра})$ по продуктам = $34 + 0,2 \cdot 18 + (101 - 16,16) + 0,16 = 122,6$ (г). $\omega(\text{NaNO}_3) = 34/122,6 = 0,277$ или 27,7%

1	Назовите элемент X и оксиды А, В, С, D. Ответ подтвердите расчетом. Запишите структурно-графические формулы оксидов, укажите степени окисления элемента X. X это N – 2 балла Если нет расчетов, то 0 баллов За молекулярную формулу оксида – 0,5 балла За указание степени окисления – 0,5 баллов За структурно-графическую формулу – 0,5 балла	2 2 2 2
2	2. Запишите уравнения получения кислородсодержащих кислот Е и F. Назовите их и запишите структурно-графические формулы. За уравнение – 1 балл За название – 0,5 балл За структурно-графическую формулу 1 балл	2 1 2
3	Уравнение реакции взаимодействия оксидов А, В и С с раствором гидроксида натрия – 1 балл Вывод об избытке гидроксида (по результатам расчета) – 2 балла (Без расчета 0 баллов) Масса раствора – 1 балл Массовая доля соли в растворе – 1 балл	3 2 1 1
		20

9-2

Расшифруйте цепочку превращений:



если известно, что в состав всех соединений входит только три элемента, массовая доля которых указана в таблице:

	A	B	C	D	E	F
X	100%	68,42%	26,80%	35,37%	52%	61,9%
Y	-	31,58%	32,99%	38,10%	48%	38,1%
Z	-	-	40,21%	26,53%	-	-

Известно, что

- X_1 – это металл,

- X_3 и X_4 окрашивают пламя в фиолетовый цвет,

- X_2 , X_5 , X_6 это оксиды.

Напишите уравнения всех реакций.

Решение:

+1	$\text{Э}_2\text{O}$	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 16 / 31,58 / 2 = 17,3 \text{ а.е.м}$	Нет Me
+2	ЭO	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 16 / 31,58 = 34,66 \text{ а.е.м}$	Нет Me
+3	$\text{Э}_2\text{O}_3$	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 48 / 31,58 / 2 = 52 \text{ а.е.м}$	Cr
+4	ЭO_2	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 32 / 31,58 = 69,3 \text{ а.е.м}$	Близко к Ga, но у него нет с.о +4
+5	$\text{Э}_2\text{O}_5$	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 80 / 31,58 / 2 = 86,7 \text{ а.е.м}$	Нет Me
+6	ЭO_3	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 48 / 31,58 = 103,99 \text{ а.е.м}$	Нет Me
+7	$\text{Э}_2\text{O}_7$	$\text{Ar}(X) = 68,42 \cdot 112 / 31,58 / 2 = 121,3 \text{ а.е.м}$	Близко к Sb, но у нее нет с.о +7

Следовательно X_1 – это хром

X_3 и X_4 окрашивают пламя в фиолетовый цвет, следовательно в их состав входит K^+

	X_3	X_4
Cr	26,80%	35,37%
O	32,99%	38,10%
K	40,21%	26,53%
	K_2CrO_4	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

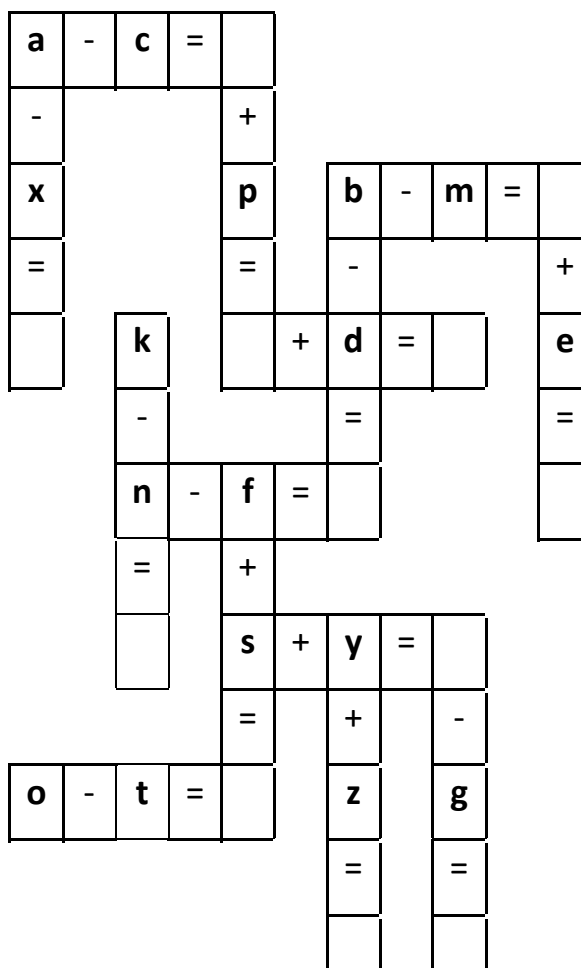
	A	B	C	D	E	F
X	100%	68,42%	26,80%	35,37%	52%	61,9%
Y	-	31,58%	32,99%	38,10%	48%	38,1%
Z	-	-	40,21%	26,53%	-	-
	Cr	Cr_2O_3	K_2CrO_4	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	CrO_3	CrO_2

- $4\text{Cr} + 3\text{O}_2 = 2\text{Cr}_2\text{O}_3$
- $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Cr} + 3\text{CO}$
- $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{KNO}_3 + 4\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{KNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CrO}_3 + 2\text{KHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- $2\text{CrO}_3 = 2\text{CrO}_2 + \text{O}_2$

1	Определение А - F – 1 балл	6
---	----------------------------	---

2	За каждое уравнение реакции 2 балла Засчитывается любой верный результат Без коэффициентов -1 балл	14
		20

9-3



Решите кроссворд, если известно:

a – количество протонов в ядре атома кислорода

b – Количество электронов в ионе Na^+

c – количество электронов, которое участвует в реакции восстановления $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$

d – максимальная валентность азота

e – количество неспаренных электронов у атома ванадия в основном состоянии

f - количество электронов на внешнем энергетическом уровне атома элемента, находящегося в четвертом периоде, VI группе, побочной подгруппе

g – количество вещества (моль), которое содержится в 44 г углекислого газа

k – количество нейтронов в атоме алюминия

m – количество гибридных орбиталей у центрального атома в молекуле H_2O

n – количество валентных электронов у атома марганца

o – значение pH, соответствующее нейтральной среде раствора

p – номер группы короткопериодной таблицы Д.И. Менделеева, в которой находятся пниктогены

s – количество неспаренных электронов в возбужденном состоянии атома углерода

t – сколько NaOH потребуется для полной нейтрализации фосфористой кислоты

x – количество σ связей в молекуле пропина

y – количество лигандов в молекуле гексацианоферрата(III) калия

z – количество ионов, образующихся при диссоциации бихромата аммония.

Решение:

8	-	5	=	3							
-				+							
6				5		10	-	4	=	6	
=				=		-				+	
2		14		8	+	4	=	12		3	
		-				=				=	
		7	-	1	=	6				9	
		=		+							
		7		4	+	6	=	10			
				=		+		-			
7	-	2	=	5		3		1			
						=		=			
						9		9			

a	b	c	d	e	f	g
8	10	5	4	3	1	1
k	m	n	o	p	s	t
14	4	7	7	5	4	2
x	y	z				
6	6	3				

I	Ответ на вопрос – 1 балл	17
	Математические расчеты при решении кроссворда – 3 балла	
		3
		20

Задача «Энергия домашнего уюта»

В преддверии холодной зимы семья Ивановых решила утеплить свой загородный дом. Для этого они планируют установить новый камин и использовать в качестве топлива экологически чистые брикеты из древесных опилок.

Чтобы оценить эффективность и экономичность этого решения, сын Ивановых, Петя, решил провести расчеты, используя свои знания по химии. Петя выяснил, что основные компоненты древесных опилок – это целлюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$ и лигнин $(C_9H_{10}O_3(ONH_2))$. Для упрощения расчетов он решил смоделировать процесс горения древесных брикетов, предположив, что они состоят только из целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n = 1$ (то есть, рассматривать мономер целлюлозы).

Петя нашел следующие термохимические данные: теплота образования воды $\Delta_f H^\circ(H_2O_{ж.}) = -286$ кДж/моль, теплота образования углекислого газа $\Delta_f H^\circ(CO_{2г.}) = -394$ кДж/моль, теплота образования целлюлозы $\Delta_f H^\circ(C_6H_{10}O_{5т.}) = -1060$ кДж/моль

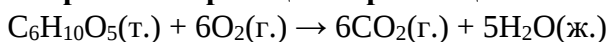
Кроме того, Петя узнал, что для поддержания комфортной температуры в доме Ивановым необходимо сжигать примерно 5 кг древесных брикетов в сутки.

Вопросы:

- 1) Напишите уравнение реакции горения целлюлозы $(C_6H_{10}O_{5т.})$ в кислороде.
- 2) Рассчитайте теплоту (энтальпию) реакции горения 1 моль целлюлозы $(C_6H_{10}O_{5т.})$, используя предоставленные данные.
- 3) Рассчитайте, сколько энергии (в кДж) выделяется при сжигании 5 кг древесных брикетов, если они состоят только из целлюлозы.

Решение:

1. Уравнение реакции горения целлюлозы:



Правильно составленное уравнение реакции – 8 баллов

(Если коэффициенты расставлены неверно – 4 балла, за уравнение без коэффициентов – 2 балла)

Итого: 8 баллов

2. Расчет теплоты реакции горения:

Следствие закона Гесса: $\Delta_r H^\circ = \sum(n\Delta_f H^\circ(\text{продуктов})) - \sum(n\Delta_f H^\circ(\text{реагентов}))$

$$\Delta_r H^\circ = [6 \cdot \Delta_f H^\circ(CO_{2г.}) + 5 \cdot \Delta_f H^\circ(H_2O_{ж.})] - [\Delta_f H^\circ(C_6H_{10}O_{5т.}) + 6 \cdot \Delta_f H^\circ(O_{2г.})]$$

Так как теплота образования простого вещества в стандартном состоянии равна нулю, то $\Delta_f H^\circ(O_{2г.}) = 0$

$$\Delta_r H^\circ = [6 \cdot (-394 \text{ кДж/моль}) + 5 \cdot (-286 \text{ кДж/моль})] - [-1060 \text{ кДж/моль} + 6 \cdot 0] = [-2364 \text{ кДж/моль} - 1430 \text{ кДж/моль}] + 1060 \text{ кДж/моль} = -2734 \text{ кДж/моль}$$

Математическая запись следствия закона Гесса – 2 балла

Правильное использование термохимических данных – 2 балла

Правильный расчет теплоты реакции – 2 балла

Итого: 6 баллов

3. Расчет энергии, выделяемой при сжигании 5 кг брикетов:

Расчет молярной массы целлюлозы, исходя из условия $n = 1$, т.е для мономера целлюлозы:

$$M(C_6H_{10}O_5) = 6 \cdot 12 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 16 = 162 \text{ г/моль}$$

Определение количества моль целлюлозы в 5 кг:

$$n(C_6H_{10}O_5) = m/M = 5000 \text{ г}/162 \text{ г/моль} \approx 30.86 \text{ моль}$$

Расчёт энергии, выделяемой при сжигании 30.86 моль целлюлозы:

$$Q = n \cdot |\Delta_f H^\circ| = 30.86 \text{ моль} \cdot 2734 \text{ кДж/моль} \approx 84383 \text{ кДж}$$

Правильный расчет молярной массы целлюлозы – 1,5 балла

Правильный расчет количества моль целлюлозы – 1,5 балла

Правильный расчет энергии, выделяемой при сжигании 5 кг брикетов - 3 балла

Итого: 6 баллов

1	<i>Правильно составленное уравнение реакции – 8 баллов (Если коэффициенты расставлены неверно – 4 балла, за уравнение без коэффициентов – 2 балла)</i>	8
2	<i>Математическая запись следствия закона Гесса – 2 балла Правильное использование термохимических данных – 2 балла Правильный расчет теплоты реакции – 2 балла</i>	2 2 2
3	<i>Правильный расчет молярной массы целлюлозы – 1,5 балла Правильный расчет количества моль целлюлозы – 1,5 балла Правильный расчет энергии, выделяемой при сжигании 5 кг брикетов - 3 балла</i>	1,5 1,5 3
		20

9-5

Дефицит железа и железodefицитная анемия (ЖДА) является наиболее распространённой патологией в современном мире. ЖДА характеризуется нарушением образования гемоглобина из-за дефицита железа в сыворотке крови и костном мозге и развитием трофических нарушений во всех органах и тканях. На сегодняшний день разработано большое количество лекарственных препаратов и БАД для коррекции ЖДА, содержащих железо. Препараты железа (II) преимущественно используются в виде солей серной кислоты – сульфатов, среди прочих, аммоний железо (II) сульфат. Важным этапом фармацевтического анализа лекарственного вещества является определение его подлинности и количественного содержания в препарате. В ходе анализа аммоний железо (II) сульфата в его лекарственной форме были проведены следующие исследования.

Оценка подлинности

1. Несколько кристаллов анализируемого вещества поместили в пробирку с газоотводной трубкой, добавили несколько капель раствора NaOH, закрыли пробирку газоотводной трубкой и осторожно нагрели. Было обнаружено выделение бесцветного газа с резким специфическим запахом, а при поднесении к отверстию газоотводной трубки влажной лакмусовой бумаги ее цвет изменялся на синий.

2. Пробу анализируемого вещества растворили в колбе в небольшом количестве очищенной воды и по каплям добавляли раствор хлорида бария, при этом наблюдали выпадение осадка белого цвета. При изучении свойств осадка, выяснилось, что он не растворяется в растворах щелочей, кислот и аммиака.

3. Пробу анализируемого вещества растворили в колбе в небольшом количестве очищенной воды и по каплям добавляли раствор NaOH, при этом образовывался светлый осадок, окраска которого быстро менялась на коричневую. При изучении свойств осадка, выяснилось, что он не растворяется в растворах щелочей и аммиака, но растворяется в растворе соляной кислоты.

- ❖ Напишите уравнение диссоциации аммоний железо (II) сульфата, укажите какие ионы были обнаружены при проведении исследования для оценки подлинности этого препарата.
- ❖ Напишите уравнения всех протекающих в ходе анализа реакций, укажите все аналитические признаки образующихся продуктов реакций.

Количественное определение

Количественное определение аммоний железо (II) сульфата проводили перманганатометрическим титрованием. Для этого навеску анализируемого образца $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ массой 2,975 г растворили в очищенной воде и объем раствора довели водой до 100,0 мл. К пробе полученного раствора объемом 5,00 мл добавили 2М раствор серной кислоты до pH 1 и оттитровали 7,55 мл раствора перманганата калия, в котором содержание перманганата калия составляет 0,00158 г/мл.

Напишите уравнение реакции, протекающей в ходе перманганатометрического определения.

- ❖ Рассчитайте массу $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в его образце и массовую долю примесей.

Решение

Оценка подлинности		
	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-}$	1
	$2(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 8\text{NaOH} = 4\text{NH}_3\uparrow + 2\text{Fe}(\text{OH})_2 + 4\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ Данной реакцией обнаруживается катион аммония по образованию газообразного аммиака, который обнаруживается на выходе газоотводной трубки по изменению окраски смоченного водой бумажного индикатора в результате протекания реакции на поверхности бумажного индикатора: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ Синяя окраска лакмуса свидетельствует об образовании гидроксид-ионов (щелочная среда).	3
	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{BaCl}_2 = 2\text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{FeCl}_2$ Данной реакцией обнаруживается сульфат-ион, образующий нерастворимую соль BaSO_4 белого цвета. Поскольку соль образована катионом сильного основания и анионом сильной кислоты, осадок не реагирует и не растворяется в кислотах и щелочах. Также катионы бария не образуют устойчивых комплексов с аммиаком, поэтому осадок не растворяется в растворе аммиака.	2
	$2(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 8\text{NaOH} = 4\text{NH}_3\uparrow + 2\text{Fe}(\text{OH})_2 + 4\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$ Данной реакцией обнаруживается катион железа (II) по образованию светлого осадка $\text{Fe}(\text{OH})_2$, довольно быстро окисляющегося кислородом с образованием $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коричневого (бурого) цвета. Осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ не реагирует с разбавленными растворами щелочей, аммиака, но реагирует и растворяется в растворе соляной кислоты: $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} = \text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	4
Количественное определение		
	Реакция, протекающая в процессе титрования: $10(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{KMnO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 =$ $10\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$	3

	Поскольку содержание перманганата калия в его растворе составляет 0,00158 г/мл, тогда масса KMnO_4 в 7,55 мл его раствора, затраченных на реакцию равна: $m(\text{KMnO}_4) = 0,00158 \text{ г/мл} \cdot 7,55 \text{ мл} = 0,01193 \text{ г.}$ $n(\text{KMnO}_4) = \frac{0,01193 \text{ г}}{158 \text{ г/моль}} = 7,55 \cdot 10^{-5} \text{ моль.}$ Следовательно, $n((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2) = 7,55 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = 3,755 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$ Тогда, $n((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2)$ в 100 мл анализируемого раствора равно: $n((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2) = 3,755 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{100 \text{ мл}}{5 \text{ мл}} = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$ $n((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2) = n((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$ $m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot 392 \text{ г/моль} = 2,960 \text{ г}$ $W\%((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,960 \text{ г}}{2,975 \text{ г}} \cdot 100\% = 99,50\%$ $W\%(\text{примесей}) = 100\% - 99,50\% = 0,5\%.$	7
		20