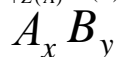


1. Имя этого химического элемента можно перевести как *цветной* – из-за разнообразия окраски соединений этого элемента. Также известно, что этот химический элемент живет в 6 подъезде, и один из всей таблицы Менделеева носит сапоги и работает в Google. В свободное время он любит слушать песни Judas Priest, Black Sabbath и Deep Purple. "Блестяще" справляется с защитой от коррозии. Образует оксиды с содержанием кислорода по массе 23,53; 31,58; 48 %. Определите элемент и дайте формулы его оксидов, ответ подтвердите расчетами. (10 баллов)

Решение.

1. Воспользуемся законом эквивалентов:

$$+z(A) - z(B)$$



$$\frac{z(B)}{z(A)} = \frac{x}{y} \quad (1)$$

$$\frac{\omega(A)}{\omega(B)} = \frac{Mr(1/z(A)A)}{Mr(1/z(B)B)} \quad (2)$$

где:  $\omega(A)$  и  $\omega(B)$  - массовые доли элементов в соединении, %

$Mr(1/z(A)A)$  и  $Mr(1/z(B)B)$  - молярные массы эквивалентов, которые выражаются как:

$$Mr(A) = z(A) * Mr(1/z(A)A) \quad (3)$$

$Mr(A)$  - молярная масса, г/моль.

$z(A)$  - эквивалентное число.

(2 балла)

2. Вычислим эквивалент кислорода в оксидах, учитывая, что степень окисления кислорода равна -2:

$$Mr(1/2 O) = 8 \text{ г/моль.}$$

(1 балл)

Далее находим содержание компонентов в оксидах, %.

Таблица 1

Номер оксида	Содержание кислорода, %	Содержание элемента, %
1	23,53	76,47
2	31,58	68,42
3	48,00	52,00

(1 балл)

3. Далее найдем по уравнению (2), которое переписывается в виде

$$Mr(1/z(A)) = \frac{\omega(A)}{\omega(O)} * Mr(1/2O), \text{ молярную массу эквивалента искомого компонента,}$$

результаты расчета представлены в таблице ниже:

Таблица 2

Номер оксида	$Mr(1/z(A)A)$
1	26
2	17,33
3	8,67

(1 балл)

4. Предположим, что элемент во всех оксидах имеет целочисленную степень окисления и соответственно эквивалентное число. Тогда методом перебора, воспользовавшись уравнением (3) найдем молярную массу искомого компонента.

Таблица 3

Номер оксида	1		2		3	
	$Mr(A)$	Элемент соответствующий $Mr(A)$	$Mr(A)$	Элемент соответствующий $Mr(A)$	$Mr(A)$	Элемент соответствующий $Mr(A)$
1	26	$\approx Al$	17,33	----	8,67	----
2	52	<b>Cr</b>	34,67	----	17,33	----
3	78	Se	52	<b>Cr</b>	26	$\approx Al$
4	104	----	69,33	Ga	34,67	----
5	130	----	86,67	----	43,33	----
6	156	----	104	----	52	<b>Cr</b>

(2 балла)

5. Только хром повторяется в трех столбцах и удовлетворяет описанию элемента в условиях задачи, то искомый элемент - хром.

(1 балл)

6. Найдем формулу оксидов хрома используя уравнение (1) и результаты расчетов таблицы 3:

Оксид №1 с содержанием кислорода 23,53% имеет  $z(A)=2$ , тогда  $\frac{y}{x} = \frac{z(A)}{z(B)} = \frac{z(Cr)}{z(O)} = \frac{2}{2} = \frac{1}{1}$ ,

соответственно оксид имеет формулу **CrO**.

Оксид №2 с содержанием кислорода 31,58 % имеет  $z(A)=3$ , тогда  $\frac{y}{x} = \frac{z(A)}{z(B)} = \frac{z(Cr)}{z(O)} = \frac{3}{2}$ ,

соответственно оксид имеет формулу **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**.

Оксид №3 с содержанием кислорода 48,00 % имеет  $z(A)=3$ , тогда  $\frac{y}{x} = \frac{z(A)}{z(B)} = \frac{z(Cr)}{z(O)} = \frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ , соответственно оксид имеет формулу **CrO<sub>3</sub>**.

(2 балла)

(Итого 10 баллов)

2. Нерастворимое в воде красно-коричневое вещество **X** взаимодействует с концентрированной азотной кислотой с выделением газа **Y**. При нагревании этого вещества **X** с серой (при  $\sim 600^\circ C$ ) выделяется газ **Z**. Относительная плотность газа **Y** по газу **Z** равна 0,7187. Известно, что элемент, входящий в состав вещества **X**, является переходным металлом золотисто-розового цвета и имеет степень окисления +1. Определите вещества **X**, **Y**, **Z** и напишите уравнения описанных реакций (10 баллов).

**Решение.**

1. Концентрированная азотная кислота является сильным окислителем. Окисляя вещество **X**, она восстанавливается до оксида азота (IV). Следовательно, газ **Y** – **NO<sub>2</sub>** (2 балла).

2. Плотность **NO<sub>2</sub>**:

$$D_Z(\text{NO}_2) = \frac{46}{M(Z)} = 0,7187$$

$$\text{Следовательно: } M(Z) = \frac{46}{0,7187} = 64 \text{ г/моль (2 балла)}$$

3. Из этого можно предположить, что газ  $Z$  – оксид серы (IV)  $\text{SO}_2$ , а вещество  $X$  – оксид меди (I)  $\text{Cu}_2\text{O}$ , поскольку указано, что вещество  $X$  имеет красно-коричневый цвет, а также в его состав входит переходный металл золотисто-розового цвета со с.о. +1 (2 балла).



Ответ:  $X - \text{Cu}_2\text{O}$ ;  $Y - \text{NO}_2$ ;  $Z - \text{SO}_2$ .

3. О неприятной и слякотной погоде Туманного Альбиона известно немало интересных фактов. Неудивительно, что аномальные атмосферные осадки оказали влияние и на английских ученых, а иначе как объяснить столь интересную историю открытия элемента  $X$ ? История начинается с описания туманного и дождливого утра, когда некий знаменитый ученый обнаружил в газете странное объявление, сообщавшее, что в магазине мистера  $M$  можно дешево купить новый металл  $X$ , о котором еще никто не слышал. Как вы уже догадались, любопытство взяло верх над осторожностью, и ученый купил данный металл, но не с целью доказательства великого открытия, а с корыстным умыслом – разоблачить «лжехимика». Перед всем научным светом ученый объявил о том, что  $X$  – это сплав платины со ртутью, но никак не новый металл. Только в 1804 году, на заседании Лондонского королевского общества известный врач и химик  $N$  доложил, что при анализе платины он обнаружил в ней металл с теми же свойствами, что у  $X$ , купленного за год до этого корыстным ученым, и, кроме того, еще один новый металл, названный родием. А в начале 1805 года в журнале он опубликовал открытое письмо, в котором признался, что не кто иной, как он создал ажиотаж вокруг открытого им  $X$ : именно он предложил для продажи слиточек нового металла. Трудно сказать, чем руководствовался  $N$ , столь необычным путем оповестивший мир о своем открытии. Для корыстного же ученого все это означало полное фиаско. Потрясенный неудачей, он вскоре после описанных событий вообще забросил занятия химией. Известно, что ученый  $N$  назвал свой металл  $X$ , отдав дань уважения открытию немецкого ученого Г.Ольберса, обнаружившего в солнечной системе неизвестную ранее малую планету, которую он назвал в честь древнегреческой богини мудрости. Также этот металл входит в число шести платиновых элементов и по свойствам схож с серебром.  $X$  легко обрабатывается даже при комнатной температуре, из него изготавливают оправы для драгоценных камней. Золото становится белым при небольших добавках  $X$ , а также весьма интересным оказалось сочетание с  $X$  и для титана. Известно, что этому металлу присуща высокая коррозионная стойкость: даже такие «хищники», как царская водка или азотная кислота, не могут «полакомиться» титаном, однако под действием концентрированных соляной и серной кислот он все же вынужден корродировать. Но если его немного «витаминизировать»  $X$  (добавка меньше 1 %), то способность титана сопротивляться этим окислителям резко возрастает.

1. Назовите металл  $X$ . Предположите, чем обусловлено столь благотворное влияние  $X$  на титан?

2. Металл  $X$  является наиболее активным из всех платиновых металлов. Он может реагировать с концентрированной азотной кислотой, а также способен образовывать комплексные соединения при анодном растворении в соляной кислоте (то есть реакция идет при выделении газообразного хлора), при этом устойчивой является степень

окисления +2, но известна и возможность проявления степени окисления +3. Напишите три указанные реакции.

3. В попытке растворить 10 г металла X некий ученый взял десятикратный избыток горячей концентрированной азотной кислоты. При этом началось выделение газа бурого цвета, поднимающегося хвостом над реакционным сосудом. Рассчитайте, сколько выделилось газа? Можно ли получить из него обратно азотную кислоту в таком же объеме, учитывая массы реагентов? В случае протекания реакции напишите её уравнение и приведите необходимые расчёты, объясните различия объемов исходной и полученной кислот, потерями, обусловленными улетучиванием газа в атмосферу можно пренебречь (плотность азотной кислоты примите равной 1,51 г/мл).

4. Количественным способом определения металла X является осаждение в виде комплексной соли аммония. Определите формулу соли, если известно, что в ее состав входит 29,96% – X, 59,88% – хлора и 7,89% азота. При проведении расчетов значения атомной и молекулярной масс округляйте до сотых. (15 баллов)

### Решение:

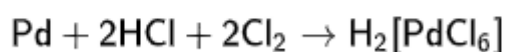
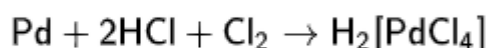
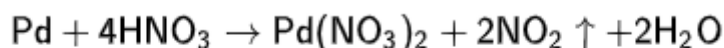
1. Металл – Палладий. Причиной коррозионной стойкости оказалось явление так самопассивации (самозащиты) металлов: если в сплавы на основе титана, железа, хрома или свинца ввести небольшие количества благородных металлов — палладия, рутения, платины, то стойкость сплавов против коррозии значительно повышается.

**Максимальный балл:** 1б – правильно назван металл, обоснована причина коррозионной стойкости

0,5 б – указано только название металла/ установлена причина коррозионной стойкости

0 б – металл назван неверно/ не назван/ причина указана неверно/не указана

2. Уравнения реакций:



**Максимальный балл:** 4б – правильно записаны все

три реакции, расставлены верно коэффициенты

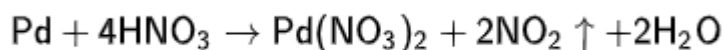
3 б – правильно записаны все три реакции, неверно расставлены/не расставлены коэффициенты

2 б – записаны две реакции, расставлены верно коэффициенты

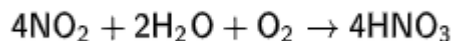
1б – записаны две реакции, неверно расставлены/не расставлены коэффициенты; написана одна реакция, расставлены верно коэффициенты

0 б – записана одна реакция, неверно расставлены/не расставлены коэффициенты; не записаны реакции

3. Уравнение реакции растворения палладия в горячей концентрированной азотной кислоте:



Выделяющийся бурый газ – это  $\text{NO}_2$ , из него можно получить азотную кислоту по следующей реакции:



Найдем количество вещества палладия  $\nu(\text{Pd}) = 0.094 \text{ моль}$ ;

При этом азотную кислоту берут в 10-кратном избытке, следовательно, объем исходной кислоты:

$$\nu(\text{HNO}_3) = 4 * 0.094 \text{ моль} = 0.376 \text{ моль}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 23.688 \text{ г}; V(\text{HNO}_3) = 15.68 \text{ мл}$$

Найдем количество вещества образовавшегося газа

$$\nu(\text{NO}_2) = 2 * 0.094 \text{ моль} = 0,188 \text{ моль}$$

Отсюда, объем образовавшейся азотной кислоты:

$$\nu(\text{HNO}_3)_{\text{обр}} = 0,188 \text{ моль}; m(\text{HNO}_3)_{\text{обр}} = 11,844 \text{ г}; V(\text{HNO}_3)_{\text{обр}} = 7,84 \text{ мл}$$

Различия в объемах исходной и образовавшейся кислот как раз и обусловлены тем, что изначально брали 10-кратный избыток кислоты, значит не вся кислота вступила в реакцию. Объем образовавшейся азотной кислоты рассчитывали, учитывая данные прореагировавших веществ, поэтому он получился меньше.

**Максимальный балл: 6б – правильно записаны все реакции, проведены расчеты и установлено различие в объемах исходной и полученной кислот.**

**4 б – правильно записаны все реакции, допущены незначительные арифметические ошибки, не объяснено/неверно объяснено различие в объемах исходной и полученной кислот.**

**2 б – записаны реакции, допущены существенные ошибки, приводящие к неверным результатам**

**1 б – записана реакция, расчеты неверны/не приведены**

**0 б – расчеты неверны/нет реакции**

4. Из условий задачи ясно, что в состав комплексной соли входит ион аммония –  $\text{NH}_4^+$ . Находим массовую долю водорода:

$$100\% - 29,96\% - 59,88\% - 7,89\% = 2,27\%$$

Пусть масса всего соединения 100 г, тогда найдем количества вещества каждого элемента :

$$\nu(\text{N}) = 0,56 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{H}) = 2,27 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{Pd}) = 0.28 \text{ моль}$$

$$\vartheta(Cl) = 1,69 \text{ моль}$$

Найдем соотношения элементов в соли:

$$\vartheta(N): \vartheta(H): \vartheta(Pd): \vartheta(Cl) = 0,56: 2,27: 0,28: 1,69 = 2: 8: 1: 6$$

**Брутто-формула (простейшая формула):**  $N_2H_8PdCl_6$ , поскольку в состав комплексной соли входит ион аммония –  $NH_4^+$

**Рациональная формула:**  $(NH_4)_2PdCl_6$

**Максимальный балл:** 4б – правильно проведены расчеты и установлена формула комплексной соли

3 б – допущены незначительные арифметические ошибки, записана только брутто-формула соединения

1 б – установлена формула соли без расчетов

0 б – расчеты неверны/нет формулы

**Максимальный балл за задачу: 15 б**

4. В 19 в. для получения больших объемов водорода использовали реакцию между «железными обрезками» и серной кислотой, «разбавленной водою». Выделившийся газ охлаждали в специальных бочках с водой и пропускали через бочки

с

известью.

Обычно получаемый таким образом водород имел запах тухлых яиц, из-за некоторого газа, образующегося при реакции примеси в исходном реагенте с серной кислотой и второстепенной (побочной) реакции протекающей параллельно главной (основной) реакции.

Задания:

1) Составьте уравнение главной (основной) реакции, протекающей в описанном процессе.

2) Запишите уравнение реакции примеси, содержащейся в «железных обрезках», с серной кислотой.

3) Составьте уравнение второстепенной (побочной) реакции, протекающей в данных условиях.

4) Какой объем раствора серной кислоты (принять  $\omega = 60\%$ , а  $\rho = 1,50 \text{ г/мл}$ ) нужно взять для получения  $20000 \text{ м}^3$  водорода (без учета побочных процессов)?

5) Для чего полученную газовую смесь пропускали через бочки с водой и известью?

6) Приведите пример современного промышленного способа получения водорода. Какой объем исходных реагентов потребуется для получения такого же объема водорода ( $20000 \text{ м}^3$ )?

7) Пусть «на железные обрезки» массой 10 т подействовали избытком серной кислоты. В результате выделилось  $3609,76 \text{ м}^3$  водорода, так же некоторый объем сероводорода, из которого  $50,85 \text{ м}^3$  приходится на реакцию серной кислоты с примесью, находящейся в железных обрезках. Рассчитайте массу чистого железа, ушедшего на второстепенную (побочную) реакцию, суммарный объем вышедшего сероводорода, содержание примеси в исходных «обрезках» и массу железного купороса, которую можно извлечь из данной реакционной смеси.

**(15 баллов)**

Решение и разбалловка

	Решение	Баллы
1	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$	1
2	Примесь FeS. $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$	1
3	Второстепенная (побочная) реакция $4\text{Fe} + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	1
4	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ 1) $v(\text{H}_2) = V \setminus V_m = 2 \cdot 10^7 \text{ л} \setminus 22,4 \text{ л} \setminus \text{моль} = 892857,14 \text{ моль}$ 2) $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 892857,14 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г} \setminus \text{моль} = 87500000 \text{ г} = 87500 \text{ кг} = 87,5 \text{ т.}$ 3) $V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = (m(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 100\%) / (\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)) = (87500000 \text{ г} \cdot 100\%) / (60\% \cdot 1,50 \text{ г} \setminus \text{мл}) = 97222,22 \text{ л}$	2
5	Очистка от водных паров, брызг кислоты. Известь так же способна поглощать примесь сероводорода.	2
6	А) Конверсия метана (природного газа) $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ Б) 1) $V(\text{CH}_4) = 1 \setminus 4v(\text{H}_2) \cdot V_m = 223214,27 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л} \setminus \text{моль} = 5000000 \text{ л} = 5000 \text{ м}^3$ 2) $V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \setminus 2v(\text{H}_2) \cdot V_m = 446428,57 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л} \setminus \text{моль} = 10000000 \text{ л} = 10000 \text{ м}^3$	3
7	1) $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ 2) $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$ 3) $4\text{Fe} + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ 4) $v(\text{H}_2) = V \setminus V_m = 3609,76 \text{ м}^3 \setminus 22,4 \text{ м}^3 \setminus \text{кмоль} = 161,15 \text{ кмоль}$ 5) тогда масса железа прореагировавшего по первой реакции $m_1(\text{Fe}) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{Fe}) = 161,15 \text{ кмоль} \cdot 55,85 \text{ кг} \setminus \text{кмоль} = 9000,23 \text{ кг}$ 6) Рассчитаем количество вещества $v_2(\text{H}_2\text{S})$ по третьей реакции $v_2(\text{H}_2\text{S}) = V_2(\text{H}_2\text{S}) \setminus V_m = 50,85 \text{ м}^3 \setminus 22,4 \text{ м}^3 \setminus \text{кмоль} = 2,27 \text{ кмоль}$ 7) $m(\text{FeS}) = v_2(\text{H}_2\text{S}) \cdot M(\text{FeS}) = 2,27 \text{ кмоль} \cdot 87,91 \text{ кг} \setminus \text{кмоль} = 199,56 \text{ кг}$ 8) $\omega(\text{FeS}) = (m(\text{FeS}) \cdot 100\%) \setminus m(\text{смеси}) = (199,56 \text{ кг} \cdot 100\%) \setminus 10000 \text{ кг} = 1,996\% = 2\%$ 9) Зная массу железа, прореагировавшего в главной (основной) реакции и массу примеси, найдём массу железа прореагировавшего во второстепенной (побочной) реакции	5

$$m_2(\text{Fe}) = m(\text{смеси}) - m_1(\text{Fe}) - m(\text{FeS}) = 10000 \text{ кг} - 9000,23 \text{ кг} - 199,56 \text{ кг} = \mathbf{800,21 \text{ кг}}$$

10) Рассчитаем объём сероводорода выделившегося во второй реакции  $V_1(\text{H}_2\text{S})$

$$v_2(\text{Fe}) = m_2(\text{Fe}) / M(\text{Fe}) = 800,21 \text{ кг} / 55,85 \text{ кг\кмоль} = 14,33 \text{ кмоль}$$

$$11) V_1(\text{H}_2\text{S}) = 1/4 v_2(\text{Fe}) * V_m = 1/4 * 14,33 \text{ кмоль} * 22,4 \text{ м}^3\text{\кмоль} = 80,25 \text{ м}^3$$

$$12) V_{\text{общ}}(\text{H}_2\text{S}) = V_1(\text{H}_2\text{S}) + V_2(\text{H}_2\text{S}) = 50,85 \text{ м}^3 + 80,25 \text{ м}^3 = \mathbf{131,1 \text{ м}^3}$$

$$13) m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) * v(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278 \text{ кг\кмоль} * (161,15 \text{ кмоль} + 2,27 \text{ кмоль} + 14,33 \text{ кмоль}) = \mathbf{49414,5 \text{ кг}}$$