

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2024-2025 учебный год
9 класс

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

ЗАДАЧА 1.

На рычажных весах уравнили две колбы одинаковой массы. В одну колбу насыпали тёмно-серое твёрдое вещество **X** массой 13,29 г. В другую колбу поместили белое твёрдое вещество **Y** массой 10,00 г. Обе колбы одновременно нагрели, вещества начали возгоняться (нагревание могло проводиться с разной интенсивностью). Пары **X** имеют тёмно-фиолетовую окраску, а вещество **Y** в газообразном состоянии не имеет ни цвета, ни запаха.

Экспериментально определили зависимости количеств веществ **X** и **Y** в колбах от времени нагрева: $n(X) = n_{\text{исх.}}(X) - 0,0035t$

$$n(Y) = n_{\text{исх.}}(Y) - 0,0127t$$

Вещество **X** в виде осадка образуется при пропускании газообразного хлора через раствор соли **Z** (реакция № 1), причём из 16,6 г **Z** можно получить 12,7 г **X**. Если пропускать избыток хлора, то выпавший осадок **X** растворяется с образованием бесцветного раствора (реакция № 2), содержащего две кислоты, бескислородную **G** и кислородсодержащую **F**. В кислоте **F** массовая доля кислорода составляет 27,27 %, а число атомов водорода и йода одинаково. Вещество **Y** в газообразном состоянии поддерживает горение магния (реакция № 3). Также **Y** выделяется при прокаливании кремнезёма с кальцинированной содой (реакция № 4), если твёрдый продукт этой реакции растворить в воде, а затем пропустить газ **Y**, то образуется раствор, содержащий кальцинированную соду (реакция 5).

Вопросы:

1. Определите вещества **X**, **Y**, **Z**, **G**, **F**. Учтите, что формулы веществ **Z** и **F** должны быть выведены при помощи расчётов, а не угаданы.
2. Напишите уравнения реакций № 1–5.
3. Через какое время весы будут постоянно находиться в равновесии и не будут из него выходить? Приведите соответствующие расчёты. Ответ дайте в секундах, округлив до целого.
4. Как называется твёрдый **Y**, где он применяется?

Решение

1. По описанию веществ **X** и **Y** можно сделать вывод, что **X** - йод I_2 , а **Y** – твёрдый углекислый газ CO_2 .

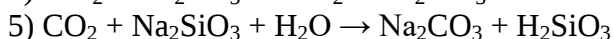
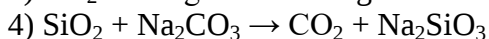
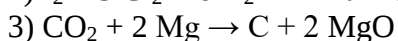
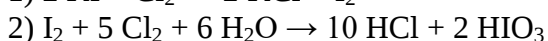
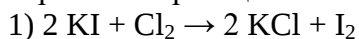
Йод образуется при пропускании хлора через растворы иодидов, разумно предположить, что соль **Z** – какой-то иодид. Количество вещества образующегося йода равно:

$n(I_2) = m(I_2) / M(I_2) = 12,7 \text{ г} / 254 \text{ г/моль} = 0,05 \text{ моль}$. Тогда можно найти количество вещества иодид-ионов в соли **Z**, оно будет в два раза больше и равно 0,1 моль. Предполагая, что в формульной единице содержится один иодид-ион, рассчитаем молярную массу соли **Z**: $M(Z) = m(Z) / n(Z) = m(Z) / n(Z) = 16,6 \text{ г} / 0,1 \text{ моль} = 166 \text{ г/моль}$. Вычитая из полученного значения молярной массы соли молярную массу йода (127 г/моль), получаем 39 г/моль, что соответствует калию. Таким образом, соль **Z** – иодид калия KI .

При взаимодействии йода с хлором в присутствии воды образуется соляная кислота (вещество **G**) и кислородсодержащая кислота $H_xI_xO_y$ (вещество **F**). При подборе учтем, что «х» скорее всего равно 1, тогда массовая доля кислорода равна:

$\frac{16y}{1+127+16y} = 0,2727$, отсюда $y=3$. Следовательно, вещество **F** – йодноватая кислота HIO_3

2. Уравнения реакций:



3. Чтобы найти время, нужно посчитать, за какое время полностью испарятся йод и «сухой лёд». Нам нужно то значение времени, которое будет больше.

Для йода: $0 = 13,29 - 254 \cdot 0,0035 t_1 \quad t_1 \approx 15 \text{ (с)}$

Для диоксида углерода: $0 = 10,00 - 44 \cdot 0,0127 t_2 \quad t_2 \approx 18 \text{ (с)}$

Следовательно, после 18 секунд весы придут в состояние равновесия и уже не будут из него выходить.

4. Твёрдый углекислый газ называется «сухой лед», и используется в качестве хладагента в лабораторных исследованиях, для охлаждения пищевых продуктов во время их транспортировки и хранения.

Система оценивания

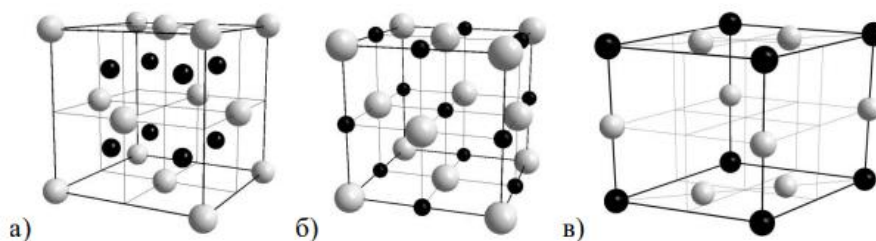
1	За правильно определённые формулы веществ: X , Y , G – по 0,5 балла. За вещества Z и F – по 1 баллу, но баллы ставятся только при наличии соответствующего расчёта, иначе – 0 баллов.	2,5 балла
2	За каждое правильно написанное уравнение реакции – по 1 баллу.	5 баллов
3	За правильно найденное значение времени при условии наличия соответствующего расчета -	2 балла
4	За правильное название твердого Y и указание на его использование в качестве хладагента.	0,5 балла
ИТОГО:		10 баллов

ЗАДАЧА 2.

A и **B** – простые вещества, образованные элементами **X** и **Y**, расположенными в одной группе. **A** – металл, **B** – неметалл. Плотности **A** и **B** при н.у. равны 0.534 г/мл и 89.3 мг/л, соответственно. При их взаимодействии образуется вещество **B**.

1. Определите вещества **А**, **Б** и **В**. **Ответ обоснуйте!** Напишите уравнение реакции взаимодействия **А** с **Б**, укажите условия её протекания.

2. На рисунке изображены три кристаллические структуры, определите какая из них относится к веществу **В**. **Ответ обоснуйте!**



3. Как соотносятся температуры плавления **А** и **В** ($>$, $<$)? **Ответ обоснуйте!**

4. Напишите уравнения реакций вещества **В** с водой и кислородом.

5. Какие вещества могут образоваться если хранить **А** на воздухе? Напишите уравнения реакций.

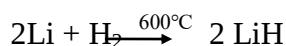
Решение

1. Только один металл имеет плотность ниже плотности воды почти в 2 раза – это литий, в первой группе только один неметалл – это водород, таким образом, **А** – **Li**, **Б** –

H₂. Указанная плотность **Б**, позволяет подтвердить выбор: $\rho = 2 \text{ г /моль} / 22,4$

$$\text{л /моль} = 0,0893 \text{ г /л.}$$

При взаимодействии лития и водорода образуется гидрид лития, реакцию проводят при нагревании:



2. Анализ представленных кристаллических структур позволяет вычислить соотношения атомов:

$$\text{а) } n_{\text{черн. атомов}} : n_{\text{бел. атомов}} = 8 : (8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2}) = 2:1$$

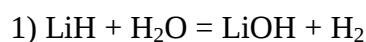
$$\text{б) } n_{\text{черн. атомов}} : n_{\text{бел. атомов}} = (8 \cdot \frac{1}{4} + 4 \cdot \frac{1}{4} + 1) : (8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2}) = 1:1$$

$$\text{в) } n_{\text{черн. атомов}} : n_{\text{бел. атомов}} = 8 \cdot \frac{1}{8} : (4 \cdot \frac{1}{2} + 4 \cdot \frac{1}{4}) = 1:3$$

В **LiH** соотношение атомов равно 1:1. Значит, он имеет структуру б).

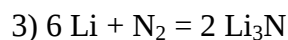
3. Известно, что щелочные металлы плавятся при низкой температуре, причем литий самый тугоплавкий из них, однако гидрид лития – ионное соединение, поэтому его температура плавления выше: $t_{\text{пл}}(\text{LiH}) > t_{\text{пл}}(\text{Li})$.

4. Реакции гидрида лития с водой и кислородом:

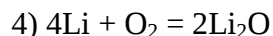


2) $2 \text{LiH} + \text{O}_2 = 2 \text{LiOH}$ или т.к. оксид лития устойчив при высокой температуре гидроксид может разложиться: $2 \text{LiH} + \text{O}_2 = 2 \text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

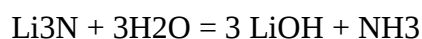
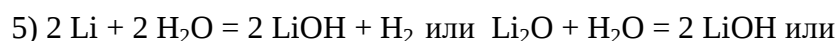
5. Хорошо известно, что Li медленно реагирует с азотом уже при комнатной температуре:



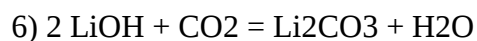
Конечно, литий будет реагировать и с кислородом с образованием оксида:



Кроме того, литий, его оксид и нитрид могут реагировать с водой, присутствующей в воздухе:



В воздухе содержится CO_2 , что может приводить к образованию карбоната:



Система оценивания

1	Определение веществ А, Б и В с обоснованием по 0,5 балла. Реакция А с Б – 0,5 балла, без указания, что реакция протекает при нагревании.	2 балла
2	Определение структуры В и обоснование (расчет) – по 0,5 баллов.	1 балл
3	Соотношение температур плавления с обоснованием.	1 балл
4	Уравнения реакций 1 и 2 по 1 баллу.	2 балла
5	Указание на Li_2O , Li_3N , Li_2CO_3 и LiOH по 0,5 балла. Уравнения соответствующих реакций (3 – 6) по 0,5 балла.	4 балла
ИТОГО:		10 баллов

ЗАДАЧА 3.

В пяти пробирках без надписей находятся водные растворы гидроксида калия, серной кислоты, хлорида бария, хлорида алюминия и карбоната натрия.

1. Предложите способ установления содержимого каждой пробирки, не применяя дополнительных реактивов.

2. Запишите уравнения химических реакций, подтверждающих результат эксперимента.

Решение

1. Самый простой способ определения: составить таблицу:

Вещества	KOH	H_2SO_4	BaCl_2	AlCl_3	Na_2CO_3
KOH	-	-	-	белый осадок, растворяющийся в избытке щёлочи	-
H_2SO_4	-	-	белый осадок	-	бесцветный газ

BaCl ₂	-	белый осадок	-	-	белый осадок
AlCl ₃	белый осадок, растворяющийся в избытке щёлочи	-	-	-	белый осадок, бесцветный газ
Na ₂ CO ₃	-	бесцветный газ	белый осадок	белый осадок, бесцветный газ	-

Уравнения реакций:

- $3\text{NaOH} + \text{AlCl}_3 = \text{Al(OH)}_3 + 3\text{NaCl}$
 $\text{Al(OH)}_3 + \text{NaOH} = \text{Na[Al(OH)}_4\text{]}$
- $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}$
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{BaCO}_3 + 2\text{NaCl}$
- $2\text{AlCl}_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al(OH)}_3 + 3\text{CO}_2 + 6\text{NaCl}$

Система оценивания

1	За правильную схему анализа (не только с помощью таблицы)	4,5 б.
2	За указание признаков (за каждый признак – по 0,5 б.)	2,5 б
3	За уравнения реакций (за каждое уравнение – по 0,5 б.)	3,0 б
ИТОГО:		10 баллов

ЗАДАЧА 4.

Однажды химик Юра Б., разбирая в своей лаборатории старый заброшенный сейф, обнаружил в нём неподписанную склянку с белым кристаллическим веществом (соль **X**), окрашивающим пламя в фиолетовый цвет. «Что же там?» – подумал Юра.

И, взяв с соседней полки концентрированную соляную кислоту, прилил её к навеске соли **X** (реакция 1). Каково было удивление химика, когда он обнаружил выделение жёлто-зелёного газа с резким запахом (газ **A**).

«Налью-ка я туда чего-нибудь другого», – решил Юра и добавил к навеске соли этой же массы (реакция 2) концентрированную серную кислоту. При этом он наблюдал выделение бурого газа с удушающим запахом (газ **Б**) с плотностью по водороду 33,75.

«Как опасно!», – воскликнул Юра. После чего он добавил к навеске соли **X** небольшое количество оксида марганца (IV) и осторожно нагрел полученную смесь до 400⁰С . При прокаливании кристаллического вещества **X** выделяется газ **В** и остаётся твёрдый остаток (реакция 3), при действии на который концентрированной серной кислоты при нагревании выделяется газ **Г** (реакция 4). При стоянии водного раствор газа **A** выделяется газ **В** и получается раствор газа **Г** (реакция 5).

«Теперь мне всё ясно, надо её подальше убрать, а то мало ли что может случиться», – твёрдо сказал химик и спрятал склянку с солью подальше в сейф.

Вопросы:

1. Расшифруйте формулы газов **А**, **Б**, **В**, **Г** и вещества **Х**.
2. Напишите уравнения реакций 1-5.
3. Напишите уравнения возможных реакций поглощения газа **А** раствором КОН.
4. Объясните, чего опасался Юра? Где применяется соль **Х**? Дайте её тривиальное название.

Решение

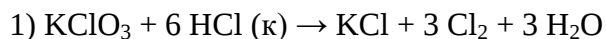
1. Окрашенные газы - это F_2 , Cl_2 , O_3 , NO_2 . Газ **А** получен при взаимодействии соли **Х** с соляной кислотой, им может быть хлор. **А** – Cl_2 .

Рассчитаем молярную массу газа **Б**. $M(B) = 2 \cdot 33,75 = 67,5$ (г/моль) Исходя из дробной молярной массы **А**, его бурой окраски и удушающего запаха, можно предположить, что данный газ содержит хлор, тогда на оставшиеся элементы приходится $67,5 - 35,5 = 32$ г/моль. Это соответствует 2 атомам кислорода, тогда возможная формула **Б** – ClO_2 .

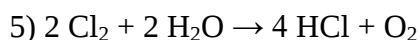
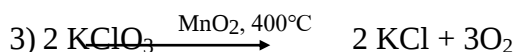
При взаимодействии Cl_2 с водой, при стоянии, выделяется кислород и образуется HCl , значит газ **В** – O_2 , а газ **Г** - HCl .

По окраске пламени и выделению двуокиси хлора при взаимодействии соли **Х** с концентрированной H_2SO_4 можно судить о наличии в её составе калия и хлора. При прокаливании кристаллического вещества **Х** выделяется кислород, следовательно, соль **Х** содержит кислород. Теоретически можно предположить, что **Х** - это $KClO$, $KClO_2$, $KClO_3$ или $KClO_4$, однако в качестве индивидуальных соединений существуют лишь $KClO_3$ и $KClO_4$. Но $KClO_4$ для получения кислорода не используется, так как температура его разложения значительно выше ($630^\circ C$). Следовательно, вещество **Х** – это $KClO_3$.

2. Уравнения реакций 1-5:



(возможно образование K_2SO_4)



3. Уравнения реакций взаимодействия хлора со щёлочью:



4. Тривиальное название соли X – бертолетова соль. Она применяется в спичечном производстве, при изготовлении взрывчатых веществ и сигнальных ракет. Смеси этой соли с восстановителями (серой, фосфором и др.) легко взрываются от удара (видимо, это вызвало опасения Юры, и он аккуратно убрал склянку с бертолетовой солью глубоко в сейф).

Система оценивания

1	За определение формул газов А, Б, В, Г и вещества X: $0,5 \text{ б.} \times 5 = 2,5$ балла. За расчет молярной массы по относительной плотности и числа атомов кислорода для газа Б – 0,5 балла	3 балла
2	Уравнения реакций 1–5 по 1 баллу за каждое уравнение	5 баллов
3	Уравнение реакции взаимодействия хлора со щёлочью (принимается любое из двух уравнений – 1 балл, если написаны оба уравнения – 1 балл)	1 балл
4	Название и применение соли + объяснение опасений Юры: $2 \times 0,5 \text{ балла} = 1 \text{ балл}$	1 балл
ИТОГО:		10 баллов

ЗАДАЧА 5.

Золотой минерал

Самый распространённый сульфидный минерал X из-за великолепного золотого блеска нередко путают с золотом (поэтому минерал ещё называют кошачьим золотом или золотом дурака). Минерал состоит из двух элементов, массовая доля серы составляет 53,3 %. При обжиге X масса твёрдого вещества уменьшается на треть, а газообразный продукт имеет плотность 2,857 г/л при н.у.

Вопросы

1. Определите химическую формулу минерала. Как он называется? Какие другие названия минерала или его разновидностей вы знаете?
2. Напишите уравнение обжига минерала X.
2. При обжиге одного моль X выделяется 828 кДж теплоты. Рассчитайте теплоту образования X, если теплоты образования газообразного и твёрдого продуктов его обжига равны 297 и 824 кДж/моль соответственно.

Решение

1. Пусть формула минерала M_xS_y , а относительная атомная масса элемента M равна M. Тогда массовая доля серы равна:

$$\omega(S) = \frac{32y}{32y + Mx} = 0,533, \text{ отсюда } M = \frac{28y}{x}$$

Подбором при $x = 1$ и $y = 2$ получаем химически разумное решение $M = 56$, то есть формула минерала FeS_2 . Обычное название минерала – пирит. Название происходит от

греческого «pyrites lithos», что означает «камень, высекающий огонь». Другие названия: железный или серный колчедан, марказит, бравоит.

2. При обжиге пирита образуются твёрдый и газообразный продукты. Твёрдый продукт – один из оксидов железа: FeO , Fe_2O_3 или Fe_3O_4 . По условию задачи при обжиге масса твёрдого вещества уменьшается на треть. В случае образования каждого из трёх перечисленных оксидов отношение масс твёрдых веществ равно:

$$\frac{M(\text{FeO})}{M(\text{FeS}_2)} = \frac{72}{120} = 0,600 \quad \frac{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{2 M(\text{FeS}_2)} = \frac{160}{240} = \frac{2}{3} \quad \frac{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{3 M(\text{FeS}_2)} = \frac{232}{360} = 0,644$$

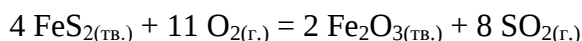
Следовательно, твёрдый продукт обжига – Fe_2O_3 .

Газообразный продукт – один из оксидов серы: SO_2 или SO_3 . По условию задачи можно определить его молярную массу $M = \rho \times V_m = 2,857 \text{ г/л} \times 22,4 \text{ л/моль} = 64 \text{ г/моль}$.

Следовательно, газообразный продукт обжига – SO_2 .

Примечание для проверяющих: учащиеся могут сразу выбрать в качестве продуктов Fe_2O_3 и SO_2 . В этом случае они должны проверить соответствие отношений масс плотности условиям задачи.

Уравнение реакции обжига пирита:



3. По закону Гесса:

$$2 Q_{\text{обр}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 8 Q_{\text{обр}}(\text{SO}_2) - 4 Q_{\text{обр}}(\text{FeS}_2) = 4 \cdot 828$$

$$\text{или } 2 \cdot 824 + 8 \cdot 297 - 4 Q_{\text{обр}}(\text{FeS}_2) = 4 \cdot 828, \text{ отсюда } Q_{\text{обр}}(\text{FeS}_2) = 178 \text{ кДж/моль.}$$

Система оценивания

1	За правильную формулу X – 1 балл. За расчёты – 2 балла (за определение относительной массы элемента и указание на то, что это Fe). За название – 0,5 балла и 0,5 балла за хотя бы одно другое название	4 балла
2	За уравнения реакции обжига пирита - 1 балл; за доказательство (расчёты), что твёрдый продукт Fe_2O_3 – 1 балл, а газообразный продукт SO_2 – 1 балл	3 балла
3	За расчёт теплоты образования X – 3 балла	3 балла
ИТОГО:		10 баллов