

9 класс

№1

- 1) Найдём молярную массу соли **В**: $M(\mathbf{B}) = 1,141 \cdot M(\text{KCl}) = 1,141 \cdot 74,5 = 85$ г/моль.
- 2) Так как **В** – соль калия, найдём молярную массу аниона: $85 - 39 = 46$ г/моль, что соответствует нитрит-аниону NO_2^- . Тогда **В** – KNO_2 .
- 3) Уравнение реакции **В** с HCl (конц.):
 $2\text{HCl}(\text{конц.}) + \text{KNO}_2(\text{тв.}) = \text{NOCl}(\text{г}) + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$, тогда газ **А** — NOCl .
- 4) Название NOCl по ИЮПАК — хлорид нитрозила.
- 5) Реакция разложения хлорида нитрозила при нагревании: $2\text{NOCl} \rightarrow 2\text{NO} + \text{Cl}_2$
- 6) Реакции взаимодействия с водой при разных температурах:
 $\text{NOCl} + \text{H}_2\text{O}(\text{хол.}) = \text{HNO}_2 + \text{HCl}$
 $3\text{NOCl} + 2\text{H}_2\text{O}(\text{гор.}) = \text{HNO}_3 + 2\text{NO} + 3\text{HCl}$

Рекомендации к оцениванию:

1. Определены **А** и **В** по – по за каждое вещество 2,5 балла 2.5 × 2 = 5 баллов
2. Дано название NOCl 1 балл
3. Записаны уравнения 4 реакций – по 1 баллу за каждое (если в уравнении расставлены неверные коэффициенты, за него ставится 0.5 балла). 1 × 4 = 4 балла

ИТОГО: **10 баллов**

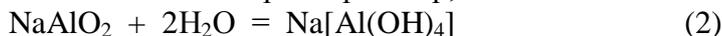
№2

Боксит – природная руда алюминия состава $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, содержащая примеси Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO_2 , а также соединений титана, галлия и ванадия.

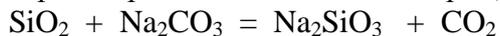
Промышленный способ состоит в обработке измельченной руды содой (Na_2CO_3) и известняком в печах при температуре 1200°C :



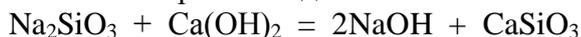
Полученную сплавленную массу измельчают и выщелачивают водой, переводя метаалюминат натрия в раствор, и отделяют от шлама:



В растворе имеется силикат натрия, образовавшийся по реакции:



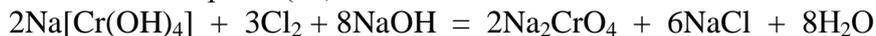
Силикат натрия осаждают известью:



Из раствора осаждают углекислым газом гидроксид алюминия:



Отделяют от хрома (III):



Гидроксид алюминия прокаливают при 1200°C :



Возможны и другие варианты.

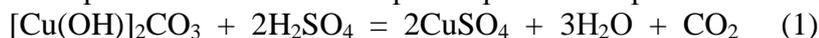
Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Приведена формула боксита – Al_2O_3 – 1 балл. | 1 балл |
| 2. Отделение от примесей железа, хрома, кремния – по 2 балла. | $2 \times 2 = 4$ балла |
| 3. Записана реакция выделения химически чистого Al_2O_3 – 2 балла (если в реакции неверно расставлены коэффициенты, за неё ставится 1 балл). | 2 балла |
| 4. Приведена оценка возможности использования приведённого способа получения чистого Al_2O_3 в промышленности – 1 балл. | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов

№3

Из первой навески малахит растворяется в серной кислоте:



По объему выделившегося углекислого газа находим:

а) массу малахита в навеске: $(1,2:22,4) \cdot 222 = 11,89$ (г).

б) массу сульфата меди: $(1,2:22,4) \cdot 2 \cdot 160 = 17,14$ (г).

в) массу образовавшейся воды: $(1,2:22,4) \cdot 3 \cdot 18 = 2,89$ (г).

При прокаливании на воздухе второй навески малахит разлагается, а медь окисляется до оксида меди (II):



Масса оксида меди из малахита: $(11,89:222) \cdot 2 \cdot 80 = 8,57$ (г).

Масса оксида меди из меди: $(m:64) \cdot 80 = 1,25m$, где m – масса меди в навеске.

Общая масса оксида меди в результате прокаливания: $8,57 + 1,25m$.

Оксид меди реагирует с серной кислотой:



По этому уравнению находим массу образовавшегося сульфата меди:

$$[(8,57 + 1,25m):80] \cdot 160 = (17,14 + 2,5m)(г).$$

Масса образовавшейся при этом воды:

$$[(8,57 + 1,25m):80] \cdot 18 = 1,928 + 0,28m$$

Масса воды в растворе серной кислоты: $120 \cdot 1,14 \cdot 0,8 = 109,44$ (г).

При кристаллизации выпадает кристаллогидрат - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Масса сульфата меди, ушедшего в кристаллогидрат из раствора второй навески:

$$(17,14:250) \cdot 160 = 10,97 \text{ (г)}, \text{ а масса воды } 17,14 - 10,97 = 6,17 \text{ (г)}.$$

Масса сульфата меди в растворе второй навески после охлаждения:

$$(17,14 + 2,5m) - 10,97 = (6,17 + 2,5m) \text{ г}.$$

Масса воды в растворе: $109,44 + 1,928 + 0,28m - 6,17 = 105,198 + 0,28m$

$$\text{Тогда: } (6,17 + 2,5m):(105,198 + 0,28m) = 0,129 \text{ и } m = 3,00 \text{ (г)}$$

Масса меди в навеске – **3,00 г**

Общая масса навески: $2 \cdot (11,89 + 3,00) = 29,78$ (г).

$W(Cu) = 3,00/14,89 = 0,201$ или $20,1\%$; $W(\text{малахита}) = 79,9\%$

Из первой навески при обработке серной кислотой образовалось 17,14 г сульфата меди и 2,89 г воды. При охлаждении этого раствора часть сульфата меди выпадет в виде кристаллогидрата – m_1

Масса сульфата меди ушедшей в кристаллогидрат:

$$(m_1 : 250) \cdot 160 = 0,64m_1$$

Масса воды в этом кристаллогидрате: $m_1 : 250 \cdot 5 \cdot 18 = 0,36m_1$

Масса воды в холодном растворе из первой навески:

$$109,44 + 2,77 - 0,36m_1 = 112,33 - 0,36m_1$$

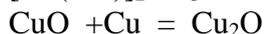
Масса сульфата меди в холодном растворе первой навески: $(17,14 - 0,64m_1)$

Зная растворимость сульфата меди при $0^\circ C$, находим массу кристаллогидрата из первой навески:

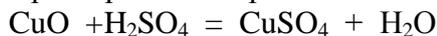
$$(17,14 - 0,64m_1):(112,21 - 0,36m_1) = 0,129; m_1 = 4,49$$

Масса медного купороса из раствора первой навески – **4,49 г.**

При прокаливании смеси в инертной атмосфере протекают реакции:



При обработке серной кислотой протекают реакции:



В итоге, количество вещества сульфата меди равняется количеству вещества образовавшегося оксида меди(II).

Масса образовавшегося сульфата меди равна:

$$(8,57:80)*160 = 17,14 \text{ (г)}.$$

Таким образом, масса выпавшего медного купороса будет такой же, как и в первом опыте - **4,49 г.**

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Определение массы навески и её состава – 3 балла. | 3 балла |
| 2. Уравнение реакций 1-4 – каждое по 0.5 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.25 балла). | $0.5 \times 4 = 2$ балла |
| 3. Масса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ из раствора первой навески – 3 балла. | 3 балла |
| 4. Масса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ при прокаливании без доступа воздуха с обоснованием – 2 балла (без обоснования – 0 баллов). | 2 балла |

ИТОГО: 10 баллов

№4

Большое содержание в организме говорит о том, что неизвестные металлы являются довольно распространенными, относительно простыми и, вероятно, схожими по свойствам. Речь в задаче идет о калии и натрии. Смысл размещения разных ионов в клетке и вне клетки состоит в том, что каждый из них переносится в клетку/из клетки, но в разных количествах. Результатом этого процесса является накопление положительного заряда вне клетки и образование разности электрических потенциалов на её мембране, что приводит к расщеплению АТФ. Также перекачивание этих двух ионов металлов необходимо для сохранения клеточного объёма, для транспорта аминокислот и т.д. Калий требуется для белкового синтеза, гликолиза, фотосинтеза и т.д., и поэтому его ионы сосредоточены в клетке, а ионы натрия – вне клетки.

Проверим, какой же металл является металлом **Y**. Массовая доля кислорода в соединении **A** соответствует пероксиду натрия Na_2O_2 . Следовательно, металл **Y** – натрий.

Примерами использования солей натрия являются: NaHCO_3 (для понижения кислотности в желудке), NaI (поддерживает запасы иода в организме), NaBr (ранее использовался как успокоительное и противосудорожный препарат), NaF (способствует усвоению кальция в процессе минерализации, способствует увеличению костной массы).

Вещества, зашифрованные на схеме:

A	Na_2O_2	E	NaH	I	NaOH
B	Na_2O	F	HCOONa	Y	Na
C	NaAlO_2	G	NaO_2		
D	NaNH_2	H	Na_2CO_3		

Реакции, зашифрованные на схеме:

- $2\text{Na} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{O}_2$
- $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{NaOH} + \text{O}_2$
- $2\text{NaOH} + 2\text{Na} = 2\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\uparrow$ при t°
- $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{Na} = 2\text{Na}_2\text{O}$

- 5) $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH}$
- 6) $\text{Na}_2\text{O}_{(к)} + \text{Al}_2\text{O}_3 = 2\text{NaAlO}_2$ сплавление при t°
- 7) $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{O}_2 = \text{NaO}_2$
- 8) $2\text{NaO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$
- 9) $\text{NaO}_2 + \text{CO} = \text{Na}_2\text{CO}_3$
- 10) $2\text{Na} + 2\text{NH}_3_{(ж)} = 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2$
- 11) $2\text{Na} + \text{H}_2 = 2\text{NaN}$
- 12) $\text{NaN} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{H}_2$
- 13) $\text{NaOH} + \text{CO} = \text{HCOONa}$

Рекомендации к оцениванию:

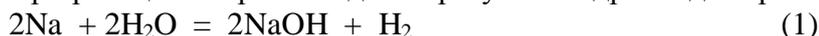
1. Определены **X** и **Y** — по 0,75 балла 0,75 × 2 = 1,5 балла
2. Соотнесено расположение металлов в клетке — по 0,5 балла 0,5 × 2 = 1 балл
3. Приведены примеры использования солей **Na** в качестве лекарств, указано, для чего они применяются — по 0,5 балла (0,25 балла без указания применения) 0,5 × 4 = 2 балла
4. Расшифрованы вещества **A–I** — по 0,25 балла 0,25 × 9 = 2,25 балла
5. Записаны реакции, зашифрованные на схеме — по 0,25 балла (если неправильно расставлены коэффициенты — 0,1 балла за реакцию) 0,25 × 13 = 3,25 балла

ИТОГО: 10 баллов

№5

Осадки черного цвета с сероводородом, белого с хлорид ионами и желтого с иодид ионами могут образовывать ионы Ag^+ и Pb^{2+} . Но так как серебро не растворяется в щелочах, то искомым металлом – **свинец**.

При реакции натрия с водой образуется гидроксид натрия:



Свинец может реагировать с раствором гидроксида натрия:



Примем количество вещества натрия за x , а количество вещества свинца за y . Тогда

Количество вещества водорода равняется: $0.5x + y = 2,54:22,4 = 0.1134$ (моль).

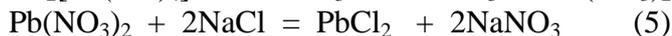
Масса смеси равна: $23x + 207y = 13.8$ (г)

Решая систему уравнений, находим: $x = 0.12$, $y = 0.0534$.

Масса натрия в смеси: $0.12 \cdot 23 = 2.76$ (г)

W (Na) = 2,76/13,8 = 0,2 или 20%; W (Pb) = 80%

Уравнения реакций:



Рекомендации к оцениванию:

1. Определение неизвестного металла – 2 балла. 2 балла
2. Расчёт массовых долей металлов – 2 балла. 2 балла
3. Уравнения реакций – каждое по 1 баллу (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.5 балла). 1 × 6 = 6 баллов

ИТОГО: 10 баллов

№6

Так как металл **M** используется в газоразрядных лампах, то он должен нетрудно возгоняться. С другой стороны, лампы, о которых идёт речь в задаче, излучают жёлтый свет. Всё это

позволяет сделать вывод, что металл **М** – это натрий. Лёгкость и коррозионная стойкость металла **Н** соответствуют алюминию и титану. Только одно простое вещество использовалось во время Первой мировой войны как БОВ – это хлор (**Д**).

Если **М** и **Д** – это натрий и хлор, определим молярную массу белой соли с $\omega(\mathbf{M}) = 30,9\%$:

$$M_{\text{соль}} = \frac{23}{0,309} = 74,4.$$

В условии сказано, что соль состоит из равных количеств атомов элементов, из которых она образована. Видно, что кроме хлора и натрия в соли есть другие элементы. Допустим, элемента всего три, тогда определим A_r третьего элемента: $74,4 - 23 - 35,4 = 16$ что соответствует кислороду. В этом случае брутто-формула **А** – это NaOCl (гипохлорит натрия).

Соль **С** можно добавить в раствор соли **А**, подкислить и получить газообразный хлор. Значит, в этом случае должно протекать конпропорционирование, и в **С** хлор должен иметь степень окисления -1 . В условии также сказано, что **А** со временем разлагается с выделением бесцветного газа **В** и соли **С**. Из этого следует, что **В** – это кислород, а **С** – хлорид натрия.

Белый порошок **Е** при пропускании хлора темнеет, при этом поднимаются фиолетовые пары **Ф**. Тогда можно предположить, что **Ф** – это иод, который и обеспечивает потемнение порошка **Е**. Тогда **Е** – это иодид алюминия, что подтверждается расчётом:

$$\frac{A_r(\text{Al})}{M_r(\text{AlI}_3)} \cdot 100\% = 6,6\%.$$

Как сказано в условии задачи, коррозионная стойкость алюминия обусловлена образованием на нём оксидной плёнки. Поэтому в реакции образования **Е** необходимо добавить пару капель жидкости **Г** – воды, в которой иоддиспропорционирует с образованием HI и HIO₃. Образующиеся кислоты растворяют оксидную плёнку, после чего чистый алюминий начинает взаимодействовать с иодом.

Ниже приведены уравнения реакции, о которых шла речь в задаче, а также таблица с веществами **А–Г**.

Реакция	Уравнение реакции
Разложение NaOCl	$2\text{NaOCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{O}_2$
Конпропорционирование NaOCl и NaCl	$\text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cl}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
Замещение иода на хлор в AlI ₃	$2\text{AlI}_3 + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{I}_2\uparrow$
Синтез AlI ₃ из алюминия и иода	$2\text{Al} + 3\text{I}_2 \rightarrow 2\text{AlI}_3$
Диспропорционирование иода в воде	$3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{HI} + \text{HIO}_3$
Растворение оксидной плёнки	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HI} \rightarrow 2\text{AlI}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HIO}_3 \rightarrow 2\text{Al}(\text{IO}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Вещество	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
Формула	NaOCl	O ₂	NaCl	Cl ₂	AlI ₃	I ₂	H ₂ O

Рекомендации к оцениванию:

1. Записаны уравнения 4 реакций, каждая по 0,75 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0,3 балла). *0,75 × 4 = 3 балла*
2. Определён металл **М** – 0,5 балла. *0,5 балла*
3. Определены вещества **А–Г** – каждое по 0,5 балла. *0,5 × 7 = 3,5 балла*
4. Записаны уравнения реакций, обосновывающие использование воды для иницирования реакции между Al и I₂, по 1,5 балла (за неправильно уравненную реакцию ставится 0,75 балла). *1,5 × 2 = 3 балла*

ИТОГО: **10 баллов**

№7

1. Уравнение разложения $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$. Данное вещество используют в качестве разрыхлителя, т.к. все выделяющиеся вещества — газообразные.

2. Рассчитаем количество карбоната аммония. Исходя из геометрических параметров формы, рассчитаем объём теста $V_{\text{теста}} = S_{\text{формы}} h_{\text{теста}} = \pi r^2 h = 3.1416 \cdot (8.0 \text{ см})^2 \cdot 4.0 \text{ см} = 804.2 \text{ см}^3$. Тогда, используя плотность теста рассчитаем массу: $m_{\text{теста}} = \rho_{\text{теста}} V_{\text{теста}} = 0.497 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3} \cdot 804.2 \text{ см}^3 = 399.7 \text{ г}$. При этом $m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0.0050 \cdot 399.7 \text{ г} = 2.0 \text{ г}$, тогда $n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = \frac{2.0 \text{ г}}{96.06 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = \mathbf{0.0208}$ моль.

3. Запишем термохимическое уравнение разложения (вода находится в жидком состоянии, т.к. в условии указано, что реакция идёт при температуре 60°C): $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{тв.}) = 2\text{NH}_3(\text{г.}) + \text{CO}_2(\text{г.}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж.})$. Тогда энтальпия этой реакции равна

$$\Delta H_r = 2\Delta_f H^0(\text{NH}_3(\text{г.})) + \Delta_f H^0(\text{CO}_2(\text{г.})) + \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{ж.})) - \Delta_f H^0((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{тв.})).$$

Необходимо найти $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{ж.}))$, рассмотрим реакцию $\text{H}_2\text{O}(\text{ж.}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{г.})$, её энтальпия равна энтальпии испарения воды: $\Delta H_{\text{исп}} = \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{г.})) - \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{ж.}))$, тогда $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{ж.})) = \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{г.})) - \Delta H_{\text{исп}}$. Подставив значения, получим $\Delta H_r(1 \text{ моль}) = 2 \cdot (-45.9) - 393.5 - 241.8 - 44.0 + 942.1 = 171.0 \text{ кДж}$. Тогда на 0.0208 моль приходится $\Delta H_r = n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) \cdot \Delta H_r(1 \text{ моль}) = 3.557 \text{ кДж}$.

4. Рассчитаем время, которое необходимо для проведения реакции, по закону Джоуля — Ленца: $\tau = \frac{Q}{IU}$. По закону Ома $I = \frac{U}{R}$, тогда $\tau = \frac{QR}{U^2}$, при этом напряжение равно стандартному напряжению сети — 220 В . Определим количество теплоты: оно складывается из теплоты, пошедшей на нагрев теста от 20°C до 60°C и на проведение химической реакции при 60°C ,

т.е. $Q = Q_{\text{нагрев}} + Q_{\text{реакция}} = cm\Delta T + \Delta H_r = \frac{2.0 \text{ кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0.3997 \text{ кг} \cdot 40^\circ\text{C} + 3.557 \text{ кДж} = 35.533 \text{ кДж}$. Тогда $\tau = \frac{QR}{U^2} = \frac{35.533 \text{ Дж} \cdot 410 \text{ Ом}}{(220 \text{ В})^2} = 301 \text{ с} \approx \mathbf{5 \text{ мин}}$.

5. Для того, чтобы рассчитать на какую высоту поднимется тесто, рассчитаем объём выделившихся газов: $V_{\text{газ}} = [n(\text{NH}_3) + n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O})]V_m = 4n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)V_m$. Т.к. разложение проходит при 110°C рассчитаем молярный объём по закону Гей-Люссака: $\frac{V_m(T_1)}{T_1} = \frac{V_m(T_2)}{T_2}$, тогда $V_m(383.15) = \frac{T_1}{T_2} V_m(273.15) = \frac{383.15 \text{ К}}{273.15 \text{ К}} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 31.4 \text{ л/моль}$. $V_{\text{газ}} = 4 \cdot 0.0208 \text{ моль} \cdot 31.4 \text{ л/моль} = 2.61 \text{ л}$. Рассчитаем высоту поднятия теста с учётом того, что 75% газов улетучивается: $h = 0.25 \frac{V}{S} = 0.25 \frac{2610 \text{ см}^3}{3.1416 \cdot (8.0 \text{ см})^2} = \mathbf{3.2 \text{ см}}$.

6. В качестве разрыхлителей можно использовать также **гидрокарбонат натрия**, т.к. при разложении выделяется углекислый газ: $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Записано уравнение разложения $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и дано объяснение его использования в качестве разрыхлителя — 1 балл. | <i>1 балл</i> |
| 2. Рассчитано количество карбоната аммония — 1 балл. | <i>1 балл</i> |
| 3. Рассчитано количество теплоты, выделившееся в результате разложения карбоната аммония — 1 балл. | <i>1 балл</i> |
| 4. Записано количество теплоты, затраченное на нагрев теста — 1 балл. | <i>1 балл</i> |
| 5. Найдено время, затраченное на разложение карбоната аммония — 3 балла. | <i>3 балла</i> |
| 6. Рассчитана высота, на которую поднимется тесто — 2 балла. | <i>2 балла</i> |
| 7. Предложен альтернативный разрыхлитель — 1 балл. | <i>1 балл</i> |

ИТОГО: **10 баллов**