

10 класс

Задача 1. Металл

На складе была обнаружена банка, заполненная стружками металла **X**. Металл **X** сгорает на воздухе ослепительным пламенем (*реакция 1*) с образованием белого порошка **A**, масса которого в 1.667 раза больше исходной массы **X**. Порошок **A** легко растворяется в соляной кислоте с образованием прозрачного раствора соли **B** (*реакция 2*), при добавлении в который раствора карбоната натрия выпадает белый осадок средней соли **B** (*реакция 3*).

При внесении металла **X** в концентрированную серную кислоту протекает бурная реакция (*реакция 4*) с выделением газа **Г** с отвратительным запахом. Если же **X** внести в разбавленную серную кислоту, то реакция также протекает достаточно бурно (*реакция 5*), но уже с выделением газа **Д** без запаха, причем молярные массы газов **Г** и **Д** различаются в 17 раз.

1. Определите металл **X**, ответ подтвердите расчетами. Для металла **X** укажите количество протонов в ядре и запишите электронную конфигурацию атома в виде $1s^2\dots$.

2. Определите формулы веществ **A – Д**.

3. Запишите уравнения *реакций 1–5*. Для *реакции 4* составьте схему электронного баланса, укажите окислитель и восстановитель.

4. Рассчитайте массовые доли (в %) всех веществ в растворе после реакции 0.96 г **X** с 8.38 мл 90% серной кислоты с плотностью $\rho = 1.82$ г/мл (*реакция 4*).

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<p>Все металлы (кроме щелочных) сгорают с образованием оксидов, поэтому увеличение массы приходится на массу затраченного кислорода. Пусть масса сгоревшего металла $m(\text{X}) = x$ г, тогда $m(\text{оксида}) = 1.667x$ г, а масса прореагировавшего кислорода $m(\text{O}_2) = 0.667x$ г.</p> <p>$n(\text{O}_2) = 0.667x / 32 = 0.02084x$ моль</p> <p>В общем виде уравнение реакции горения металла:</p> $2\text{X} + y/2 \text{O}_2 = \text{X}_2\text{O}_y,$ <p>откуда следует, что $n(\text{X}) = y \cdot n(\text{O}_2) = 0.02084xy$ моль</p> <p>При $y = 2$ $M(\text{X}) = x / 2 \cdot 0.02084x = 24$ г/моль, что соответствует магнию.</p> <p>Действительно, магний сгорает ослепительным пламенем, поэтому по описанию процесса горения уже можно высказать предположение о природе металла. Перебор металлов с другими валентностями не приводит к адекватным результатам.</p> <p>Количество протонов в ядре атома магния – 12</p> <p>Электронная конфигурация атома магния: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$</p>	<p>3 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p>
2.	<p>Белый порошок, образующийся при сгорании магния – это оксид магния MgO. При его растворении в соляной кислоте образуется растворимая соль – хлорид магния MgCl₂, которая при добавлении карбоната натрия вступает в реакцию обмена с образованием нерастворимого карбоната магния MgCO₃.</p> <p>Магний – достаточно активный металл, поэтому он восстанавливает</p>	

	<p>концентрированную серную кислоту до сероводорода H_2S, имеющего отвратительный запах тухлых яиц. Если же магний растворить в разбавленной серной кислоте, то магний восстанавливает ионы H^+ до водорода H_2 – легкого газа без запаха.</p> <p>$M(H_2S) / M(H_2) = 34 / 2 = 17$ – соответствует условию</p> <p>Таким образом,</p> <p>А – MgO Б – $MgCl_2$ В – $MgCO_3$ Г – H_2S Д – H_2</p>	5×1 = 5 б						
3.	<p><i>Реакция 1:</i> $2Mg + O_2 = 2MgO$</p> <p><i>Реакция 2:</i> $MgO + 2HCl = MgCl_2 + H_2O$</p> <p><i>Реакция 3:</i> $MgCl_2 + Na_2CO_3 = 2NaCl + MgCO_3 \downarrow$</p> <p><i>Реакция 4:</i> $4Mg + 5H_2SO_{4(конц.)} = 4MgSO_4 + H_2S \uparrow + 4H_2O$</p> <p>или: $4Mg + 9H_2SO_{4(разб.)} = 4Mg(HSO_4)_2 + H_2S \uparrow + 4H_2O$</p> <p><i>Реакция 5:</i> $Mg + H_2SO_{4(разб.)} = MgSO_4 + H_2 \uparrow$</p> <p>Схема электронного баланса для <i>реакции 4</i>:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">$Mg^0 - 2e = Mg^{+2}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">4</td> <td style="padding: 2px;">Mg^0 – восстановитель</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$S^{+6} + 8e = S^{-2}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1</td> <td style="padding: 2px;">S^{+6} – окислитель</td> </tr> </tbody> </table>	$Mg^0 - 2e = Mg^{+2}$	4	Mg^0 – восстановитель	$S^{+6} + 8e = S^{-2}$	1	S^{+6} – окислитель	<p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>2 б</p>
$Mg^0 - 2e = Mg^{+2}$	4	Mg^0 – восстановитель						
$S^{+6} + 8e = S^{-2}$	1	S^{+6} – окислитель						
4	<p>$n(Mg) = 0.96/24 = 0.04$ моль</p> <p>$n(H_2SO_4) = 8.38 \times 1.82 \times 0.9 / 98 = 0.14$ моль</p> <p>Серная кислота взята в избытке, магний растворится полностью.</p> <p>Расчет по уравнению <i>реакции 4 (вариант №1)</i>:</p> <p>$n(MgSO_4) = n(Mg) = 0.04$ моль $m(MgSO_4) = 120 \times 0.04 = 4.8$ г</p> <p>$n(H_2S) = n(Mg) / 4 = 0.01$ моль $m(H_2S) = 34 \times 0.01 = 0.34$ г</p> <p>$n(H_2SO_4)_{вступ. в р-ю} = 5n(Mg) / 4 = 0.05$ моль</p> <p>$n(H_2SO_4)_{ост} = 0.14 - 0.05$ моль = 0.09 моль</p> <p>$m(H_2SO_4)_{ост} = 98 \times 0.09 = 8.82$ г</p> <p>$m(p-ра) = m(Mg) + m(p-ра H_2SO_4) - m(H_2S) = 0.96 + 8.38 \times 1.82 - 0.34 = 15.87$ г</p> <p>$\omega(MgSO_4) = 4.8 / 15.87 = 0.3025$ (30.25%)</p> <p>$\omega(H_2SO_4) = 8.82 / 15.87 = 0.5558$ (55.58%)</p> <p>Расчет по уравнению <i>реакции 4 (вариант №2)</i>:</p> <p>$n(Mg(HSO_4)_2) = n(Mg) = 0.04$ моль, $m(Mg(HSO_4)_2) = 218 \times 0.04 = 8.72$ г</p> <p>$n(H_2S) = n(Mg) / 4 = 0.01$ моль $m(H_2S) = 34 \times 0.01 = 0.34$ г</p> <p>$n(H_2SO_4)_{вступ. в р-ю} = 9n(Mg) / 4 = 0.09$ моль</p> <p>$n(H_2SO_4)_{ост} = 0.14 - 0.09$ моль = 0.05 моль</p> <p>$m(H_2SO_4)_{ост} = 98 \times 0.05 = 4.9$ г</p> <p>$m(p-ра) = m(Mg) + m(p-ра H_2SO_4) - m(H_2S) = 0.96 + 8.38 \times 1.82 - 0.34 = 15.87$ г</p> <p>$\omega(Mg(HSO_4)_2) = 8.72 / 15.87 = 0.5495$ (54.95%)</p> <p>$\omega(H_2SO_4) = 4.9 / 15.87 = 0.3088$ (30.88%)</p> <p>(засчитывается любой из приведенных вариантов)</p> <p style="text-align: right;">(за п.4 максимально 8 б)</p>	<p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>или:</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p> <p>1 б</p>						
	Итого	25 баллов						

При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.

Задача 2. Четыре опыта

В четырех пронумерованных пробирках находятся водные растворы следующих веществ: гидроксид натрия (+ несколько капель индикатора метилового оранжевого), хромат натрия, карбонат натрия, силикат натрия. В каждую пробирку был добавлен избыток вещества **X**, представляющего собой бесцветную или светло-желтую, дымящую на воздухе жидкость (плотность $\rho = 1.51$ г/мл). Результаты опытов представлены в таблице:

Номер пробирки	Вещество в пробирке	Внешние признаки реакций после добавления X
1	гидроксид натрия (+метилоранж)	Образуется красный прозрачный раствор (<i>реакция 1</i>)
2	хромат натрия	Образуется оранжевый прозрачный раствор (<i>реакция 2</i>)
3	карбонат натрия	Выделяется бесцветный газ без запаха (<i>реакция 3</i>)
4	силикат натрия	Выпадает белый осадок (<i>реакция 4</i>)

Дополнительно известно, что вещество **X** реагирует с медью (*реакция 5*), при этом выделяется бурый газ **Y**, имеющий плотность по воздуху, равную 1.59.

1. Напишите химические формулы четырех соединений натрия, содержащихся в пробирках. Укажите окраску исходных растворов в пробирках **1** и **2**.

2. Определите формулы вещества **X** и газа **Y**, ответ подтвердите расчетом молярной массы **Y**.

3. Напишите уравнения *реакций 1 – 5*. Для *реакции 3* составьте полное и сокращенное ионно-молекулярные уравнения.

4. Рассчитайте, какой минимальный объем **X** (мл) необходимо добавить в первую пробирку для получения красного раствора, если в ней содержится 10 г 20% раствора гидроксида натрия.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Гидроксид натрия – NaOH Хромат натрия – Na₂CrO₄ Карбонат натрия – Na₂CO₃ Силикат натрия – Na₂SiO₃ Метилоранжевый в растворе щелочи имеет желтую окраску, растворы всех хроматов также желтого цвета.	4×1 = 4 б 2×1 = 2 б
2.	$M(Y) = 1.59 \times 29 = 46$ г/моль, что соответствует NO₂ – газу бурого цвета. Жидкость X изменяет окраску индикатора на красную при добавлении ее избытка в раствор щелочи, что позволяет сделать вывод о кислотных свойствах X . С медью с выделением бурого газа может реагировать только азотная кислота HNO₃ , что подтверждается и результатами, полученными в других опытах: желтые хроматы в кислой среде переходят в оранжевые дихроматы, карбонаты выделяют бесцветный углекислый газ, а силикаты осаждаются в виде геля кремниевой кислоты. Поскольку азотная кислота по описанию дымит на воздухе, а с медью выделяет диоксид азота, можно сделать заключение, что речь идет о концентрированной (100%) азотной кислоте. Таким образом, X – HNO₃ (100%) Y – NO₂	2×3 = 6 б

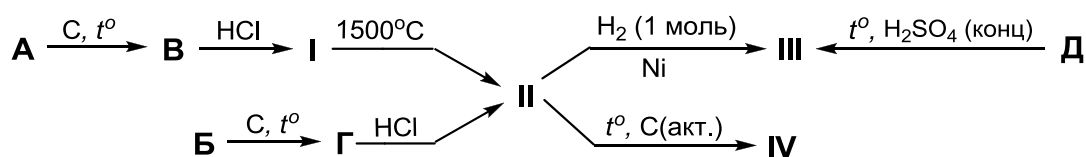
3.	<p><i>Реакция 1:</i> $\text{NaOH} + \text{HNO}_3 = \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$</p> <p><i>Реакция 2:</i> $2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 2\text{HNO}_3 = \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$</p> <p><i>Реакция 3:</i> $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HNO}_3 = 2\text{NaNO}_3 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>$2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- = 2\text{Na}^+ + 2\text{NO}_3^- + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$</p> <p><i>Реакция 4:</i> $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{SiO}_3 (\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})\downarrow + 2\text{NaNO}_3$</p> <p><i>Реакция 5:</i> $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>1 6</p> <p>2 6</p> <p>1 6</p> <p>1 6</p> <p>1 6</p> <p>1 6</p> <p>2 6</p>
4	<p>Чтобы раствор в первой пробирке стал красным, нужно полностью нейтрализовать содержащийся в ней гидроксид натрия и добавить минимальный избыток кислоты для получения кислой среды раствора.</p> <p>$n(\text{NaOH}) = 10 \times 0.2 / 40 = 0.05$ моль</p> <p>По уравнению <i>реакции 1</i> $n(\text{HNO}_3) = n(\text{NaOH}) = 0.05$ моль</p> <p>$m(\text{HNO}_3) = 63 \times 0.05 = 3.15$ г</p> <p>$V(\text{HNO}_3) = m / \rho = 3.15 / 1.51 = 2.086$ мл</p> <p>С учетом минимального избытка для изменения окраски раствора потребуется $V(\text{HNO}_3) \approx 2.1$ мл</p>	<p>1 6</p> <p>3 6</p>
Итого		25 баллов

При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.

Задача 3. Уголь и углеводороды

Используя оксиды **A** и **B**, а также уголь в качестве единственного источника углерода, можно получить углеводороды **I** – **IV**, являющиеся простейшими представителями своих гомологических рядов. Оксид **A** широко встречается в природе, как в чистом виде, так и в виде сложных минералов, составляет основу глины и драгоценных камней: рубина и сапфира. Молярные массы оксидов **A** и **B** различаются в 1.82 раза.

Оксиды **A** и **B** сплавили с избытком угля при высокой температуре (*реакции 1 и 2*), а затем полученные бинарные соединения **B** и **Г** обработали соляной кислотой (*реакции 3 и 4*). Углеводород **I**, образующийся в *реакции 3*, при быстром нагревании до 1500°C превращается в углеводород **II** (*реакция 5*), который далее можно превратить в углеводород **III** действием одного эквивалента водорода (*реакция 6*). Углеводород **III** можно получить и действием концентрированной серной кислоты при нагревании на жидкость **D** (*реакция 7*). Нагревание углеводорода **II** в присутствии активированного угля приводит к веществу **IV** (*реакция 8*). Все описанные превращения отражены на схеме:



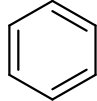
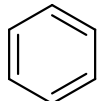
1. Установите формулы веществ **A** – **D**, если дополнительно известно, что массовая доля кислорода в **D** равна 34.78%. Ответ подтвердите расчетом.

2. Установите брутто-формулы углеводородов **I** – **IV**, приведите их названия и укажите тип гибридизации атомов углерода в этих соединениях. К каким классам углеводородов они относятся? Изобразите структурные формулы углеводородов **II** и **IV**.

3. Напишите полные уравнения *реакций 1–8*.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<p>При сплавлении некоторых оксидов с углем образуются бинарные соединения – карбиды, которые способны разлагаться водой и кислотами с выделением газообразных углеводородов. Среди карбидов можно выделить метаниды, которые содержат углерод в степени окисления –4 и разлагаются с выделением метана CH₄, а также ацетилениды, которые фактически являются солями очень слабой кислоты – ацетилена C₂H₂ и выделяют его при действии более сильных кислот. Превращение I → II – известный промышленный процесс пиролиза метана с образованием ацетилена. Самым распространенным карбидом-метанидом является карбид алюминия Al₄C₃ (вещество B), а карбидом-ацетиленидом – карбид кальция CaC₂ (вещество Г). Тогда A – оксид алюминия Al₂O₃, который действительно входит в состав глины и драгоценных камней, а B – оксид кальция CaO.</p> <p>$M(\text{Al}_2\text{O}_3) / M(\text{CaO}) = 102 / 56 = 1.82$, что соответствует условию.</p> <p>При неполном гидрировании ацетилена можно получить этилен C₂H₄, который также получается при дегидратации этилового спирта C₂H₅OH, в котором $\omega(\text{O}) = 16 / 46 = 0.3478$ (34.78%), что также соответствует условию.</p> <p>При нагревании ацетилена с активированным углем происходит его тримеризация с образованием бензола C₆H₆.</p>	<p>16</p> <p>16</p>

	<p>Таким образом, А – Al₂O₃, Б – CaO, В – Al₄C₃, Г – CaC₂, Д – C₂H₅OH</p>	1×5 = 5 б
2.	<p>Углеводород I – метан CH₄, простейший представитель класса алканов, содержит атом углерода в sp³-гибридизации. Углеводород II – ацетилен (этин) C₂H₂, простейший представитель класса алкинов, содержит атомы углерода в sp-гибридизации. Углеводород III – этилен (этен) C₂H₄, простейший представитель класса алкенов, содержит атомы углерода в sp²-гибридизации. Углеводород IV – бензол C₆H₆, простейший представитель класса аренов, содержит атомы углерода в sp²-гибридизации. Структурные формулы ацетилена и бензола:</p> <p style="text-align: center;"> $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$  </p>	<p>2 б</p> <p>2 б</p> <p>2 б</p> <p>2 б</p> <p>2×1 = 2 б</p>
3.	<p><i>Реакция 1:</i> $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 9\text{C} = \text{Al}_4\text{C}_3 + 6\text{CO}$ (при нагревании) <i>Реакция 2:</i> $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$ (при нагревании) <i>Реакция 3:</i> $\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{HCl} = 4\text{AlCl}_3 + 3\text{CH}_4$ <i>Реакция 4:</i> $\text{CaC}_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{C}_2\text{H}_2$ <i>Реакция 5:</i> $2\text{CH}_4 = \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$ (1500°C) <i>Реакция 6:</i> $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 = \text{CH}_2=\text{CH}_2$ (Ni) <i>Реакция 7:</i> $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH} = \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (t°, H₂SO₄) <i>Реакция 8:</i></p> <p style="text-align: center;"> $3 \text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H} \xrightarrow{t^\circ, \text{C(акт.)}} \text{C}_6\text{H}_6$  </p>	8×1 = 8 б
	Итого	25 баллов

При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.

Задача 4. Хлоратные свечи

Кислород является важнейшим простым веществом, необходимым для жизни человека. Для обеспечения кислородом людей, работающих в замкнутых пространствах, например на космических летательных аппаратах или подводных лодках, часто используют химически связанный кислород, входящий в состав различных соединений. В качестве одного из аварийных средств, предназначенных для быстрого получения кислорода, применяют так называемые хлоратные свечи.

В состав простейшей хлоратной свечи входит порошок железа и бертолетова соль. Бертолетова соль содержит 31.84 масс.% калия и 28.98 масс.% хлора, остальное – кислород. При поджигании хлоратной свечи железо сгорает до железной окалины ($\omega(\text{O}) = 27.59\%$), а выделяющееся при этом тепло расходуется на разложение бертолетовой соли с выделением кислорода.

1. Установите формулу бертолетовой соли. Запишите термохимическое уравнение реакции ее разложения, если для разложения 1 моль соли требуется 44.7 кДж тепла.

2. Известно, что при сгорании образца железа массой 16.8 г до оксида железа (II) выделяется 81.6 кДж теплоты, а при сгорании такого же образца до оксида железа (III) теплоты выделяется на 42 кДж больше. Запишите уравнения этих реакций и рассчитайте их тепловой эффект на 1 моль образующего оксида. Используя эти данные, рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания железа до железной окалины (на 1 моль окалины) и запишите соответствующее термохимическое уравнение.

3. Рассчитайте массы железного порошка и бертолетовой соли, необходимые для приготовления хлоратной свечи, способной генерировать 1 м³ (н.у.) кислорода.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Состав бертолетовой соли $\text{K}_x\text{Cl}_y\text{O}_z$ $x : y : z = 31.84/39 : 28.98/35.5 : 39.18/16 = 0.816 : 0.816 : 2.448 = 1 : 1 : 3$ Бертолетова соль – KClO_3 Термохимическое уравнение реакции разложения: $\text{KClO}_3 = \text{KCl} + 1.5\text{O}_2 - 44.7 \text{ кДж}$	2 6 2 6
2.	$n(\text{Fe}) = 16.8 / 56 = 0.3$ моль При сгорании железа до оксида железа (II) протекает реакция: $\text{Fe} + 0.5\text{O}_2 = \text{FeO}$ (1) По уравнению реакции $n(\text{FeO}) = n(\text{Fe}) = 0.3$ моль В расчете на 1 моль FeO $Q_{(1)} = 81.6 / 0.3 = \mathbf{272 \text{ кДж}}$ При сгорании железа до оксида железа (III) протекает реакция: $2\text{Fe} + 1.5\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$ (2) По уравнению реакции $n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0.5n(\text{Fe}) = 0.15$ моль В расчете на 1 моль Fe_2O_3 $Q_{(2)} = (81.6 + 42) / 0.15 = \mathbf{824 \text{ кДж}}$ Железная окалина – смешанный оксид железа Fe_3O_4 ($\omega(\text{O}) = 27.59\%$) При сгорании железа до железной окалины протекает реакция: $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4$ (3) Нетрудно заметить, что реакция (3) представляет собой сумму реакций (1) и (2), следовательно, ее тепловой эффект $Q_{(3)} = Q_{(1)} + Q_{(2)} = 272 + 824 = \mathbf{1096 \text{ кДж}}$ Термохимическое уравнение: $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 1096 \text{ кДж}$	1 6 3 6 1 6 3 6 1 6 3 6 2 6

