

Девятый класс

Решение задачи 9-1 (авторы Архангельская О. В., Долженко В.Д.)



$$2Me + 2H_2O = 2MeOH + H_2 \quad v(H_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{105 \cdot 2,87}{8,314 \cdot 298} = 0,122 \text{ моль};$$

$$v(\text{металлов}) = 2 \cdot 0,122 = 0,244 \text{ моль}$$

$$M_{\text{ср.}}(\text{сплава}) = 20 / 0,244 = 81,96 \text{ г/моль.}$$

Примем за x мольную долю калия, а неизвестный металл обозначим **A**, тогда:

$$M(K) \cdot x + M(A) \cdot (1 - x) = M_{\text{ср.}}, \text{ откуда } x = (M(A) - M_{\text{ср.}}) / (M(A) - M(K))$$

Согласно условию задачи мольные доли компонентов смеси не должны превышать 60%, следовательно, $0,4 < x < 0,6$.

$$\text{т.к. } x > 0,4 \quad M(A) > M_{\text{ср.}} \text{ и } M(A) > M(K);$$

$$\text{т.к. } M_{\text{ср.}} > M(K), \text{ в случае } M(A) < M_{\text{ср.}} \text{ и } M(A) < M(K), x > 1, \text{ чего не может быть}$$

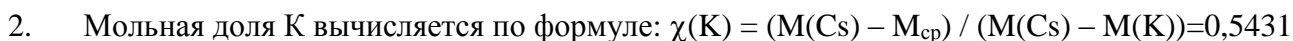
Решим неравенства:

$$(M(A) - M_{\text{ср.}}) / (M(A) - M(K)) > 0,4, \text{ следовательно } M(A) > (M_{\text{ср.}} - 0,4 \cdot M(K)) / 0,6 = 110,5$$

$$(M(A) - M_{\text{ср.}}) / (M(A) - M(K)) < 0,6, \text{ следовательно } M(A) < (M_{\text{ср.}} - 0,6 \cdot M(K)) / 0,4 = 146,3$$

таким образом $110,5 < M(A) < 146,3$. Этим условиям отвечает ЦЕЗИЙ.

К аналогичному выводу можно придти, руководствуясь следующими соображениями: $M(K) = 39,1$ г/моль, это значит, что $M(A)$ другого металла должна быть больше 81,96 г/моль. Это может быть Rb ($M = 85,47$ г/моль) или Cs ($M = 132,91$ г/моль). Молярная масса Rb близка к $M_{\text{ср.}}$ и его доля должна быть больше 60%, что противоречит условию. Значит, второй металл – ЦЕЗИЙ.



$$\omega(K) = M(K) \cdot x / M_{\text{ср.}} \cdot 100\% = 25,9\% \text{ и } \omega(Cs) = 100 - 25,9 = 74,1\%$$

Также искомые значения можно получить, решив следующее уравнение:

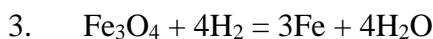
$$M(K) \cdot y + M(Cs) \cdot (0,244 - y) = 20, \text{ где } y - \text{ количество вещества калия в сплаве.}$$

$$y = (0,244 \cdot M(Cs) - 20) / (M(Cs) - M(K)) = 0,1325 \text{ моль калия,}$$

$$\text{Мольная доля калия составляет } \chi(K) = v(K) / v_{\text{общ}} = 54,3\%, \text{ т.е. } 0,4 < \chi(K) < 0,6,$$

что удовлетворяет условию задачи.

$$m(K) = M(K) \cdot y = 5,181 \text{ г, а } \omega(K) = m(K) / m(\text{сплава}) \cdot 100\% = 25,9\%$$



$$v(Fe_3O_4) = \frac{1}{4}v(H_2) = 0,122/4 = 0,0305 \text{ моль}$$

$$m(Fe_3O_4) = 0,0305 \cdot 231,5 = 7,06 \text{ г}$$

Система оценивания:

1. Уравнения реакций металлов сплава с водой (уравнения 1 и 2)	2 балла
Расчет числа молей водорода	3 балла
Расчеты и обоснование того, что второй металл – цезий	6 баллов
2. Расчет массовой доли калия в сплаве	3 балла
3. Уравнение реакции взаимодействия оксида железа с водородом	2 балл
Расчет массы Fe ₃ O ₄	4 балла
ИТОГО	20 баллов

Решение задачи 9-2 (авторы А. А. Дроздов, М. Н. Андреев)

1) Серебристо-белое простое вещество скорее всего металл. В результате его сжигания получается соединение металла с кислородом (**Б**). Продуктом растворения вещества **Б** в соляной кислоте является соль **В** – хлорид этого металла. Из того, что при охлаждении раствора соли **В** образуется осадок **Г**, при незначительном нагревании которого опять образуется соль **В**, можно предположить, что **Г** – это кристаллогидрат неизвестной соли **В**. Представив формулу кристаллогидрата как **В·xH₂O**, получаем

$$18x / (18x + M(\text{В})) = 0,381 \text{ или } M(\text{В}) = 29,24x.$$

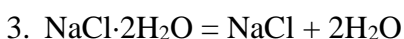
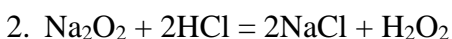
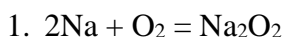
При $x = 1$, $M(\text{В}) = 29,24$ г/моль, что меньше атомной массы хлора.

При $x = 2$, $M(\text{В}) = 58,5$ г/моль, что соответствует молярной массе NaCl.

При $x = 3$, $M(\text{В}) = 87,7$ г/моль. Соль может содержать один атом хлора, тогда металл имеет молярную массу $M = 52$ г/моль. Одновалентного такого металла нет. Для двух атомов хлора в составе соли **В** получаем молярную массу металла $M = 16,7$ г/моль. Такого металла нет. Три атома хлора не может быть при полученной молярной массе **В**.

Серебристо-белое вещество – металл натрий. При его сжигании в кислороде получается пероксид натрия. Таким образом, **А** – натрий **Na**, **Б** – пероксид натрия **Na₂O₂**, **В** – хлорид натрия **NaCl**, **Г** – дигидрат хлорида натрия **NaCl·2H₂O**.

Уравнения реакций:



2) В 100 г насыщенного раствора NaCl при 100 °С содержится $(100 \cdot 40,6 / 140,6) = 28,9$ г соли. Масса воды составляет $100 - 28,9 = 71,1$ г. При охлаждении насыщенного при 100 °С

раствора часть хлорида натрия осаждается в виде безводной соли (до 0 °С), поскольку дигидрат легко разлагается при нагревании. При охлаждении до 0 °С в 71,1 г воды растворяется $(35,9 \cdot 71,1) / 100 = 25,5$ г хлорида натрия. Пусть из раствора выделится x моль $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, тогда $71,1 - 36x$ – масса воды, оставшаяся в растворе при -20 °С. Тогда масса хлорида натрия, оставшегося в растворе при -20 °С, равна $25,5 - 58,5x$. Составим уравнение на основе растворимости при -20 °С:

$$30,4(71,1 - 36x) / 100 = 25,5 - 58,5x,$$

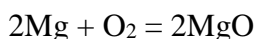
откуда $x = 0,082$ моль, или 7,75 г дигидрата хлорида натрия.

Система оценивания:

Определение А, Б, В, Г по 2 балла	8 баллов
Уравнения реакций: 3 по 2 балла	6 баллов
Расчет массы Г	6 баллов
	ИТОГО 20 баллов

Решение задачи 9-3 (авторы А. А. Дроздов, М. Н. Андреев)

1. Бесцветный, без запаха газ, выделяющийся при термическом разложении порошка и окисляющий магний – кислород.

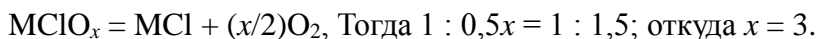


$$n(\text{Mg}) = 10,8 / 24 = 0,45 \text{ моль, значит } n(\text{O}_2) = 0,225 \text{ моль.}$$

Белый творожистый осадок, получающийся при действии нитрата серебра – это AgCl , его $n = 21,5 / 143,5 = 0,15$ моль. Таким образом, в состав серого порошка входит соль, содержащая неизвестный металл, хлор и кислород, которую обозначим как MClO_x .

$$\text{Получаем } n(\text{Cl}) : n(\text{O}_2) = 0,15 : 0,225 = 1 : 1,5.$$

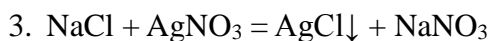
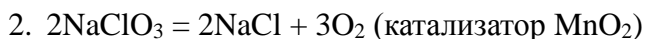
При нагревании выделение газа происходит по реакции



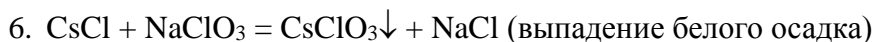
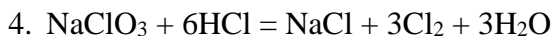
Разложению был подвергнут **хлорат**. Хлораты щелочных металлов – **белые** кристаллические порошки. По условию, разложение прошло количественно, значит, в смеси был катализатор. Исходный серый порошок – смесь, содержащая помимо хлората еще и катализатор. Оставшийся темный осадок – это и есть катализатор, MnO_2 . Таким образом, масса MClO_3 равна $18 - 2 = 16$ г.

Серый порошок – смесь хлората натрия и катализатора MnO_2 .

$$n(\text{MClO}_3) = 16 / (M + 35,5 + 48) = 0,15 \text{ моль, следовательно } M = 23,1. \text{ Это натрий.}$$



2. При обработке серого порошка раствором соляной кислоты будут протекать реакции:



Система оценивания:

определение $n(\text{O}_2)$	2 балла
определение $n(\text{Cl})$	2 балла
вывод о том, что в исходной смеси хлорат	4 балла
нахождение молярной массы хлората	3 балла
написание реакций (разложение хлората, горение магния, реакция с нитратом серебра)	3 балла
написание реакций с соляной кислотой – 2 реакции по 2 балла	4 балла
написание реакций с хлоридом цезия	2 балла
ИТОГО	20 баллов

Решение задачи 9-4 (авторы Масоуд С., Апяри В.)

1. Исходя из условий задачи, соды – это натриевые соли угольной кислоты и их гидраты, а также гидроксид натрия, который может быть получен из оксида натрия и воды. Формулы и названия четырех веществ, отвечающих известным содам, а также названия самих сод следующие:

NaHCO_3 – гидрокарбонат натрия; пищевая или питьевая сода

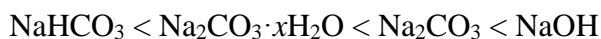
Na_2CO_3 – карбонат натрия; кальцинированная сода

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ – гидрат карбоната натрия; кристаллическая сода (Примечание: допускается написание любого конкретного гидрата: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

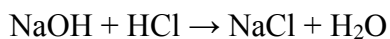
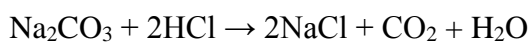
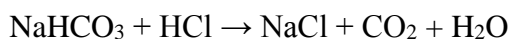
NaOH – гидроксид натрия; каустическая сода

2. pH раствора тем выше, чем больше в нем будет концентрация гидроксид-ионов, которая зависит от склонности аниона к гидролизу (его основных свойств) и, при прочих равных условиях, от концентрации аниона. Из приведенных веществ наименьшими

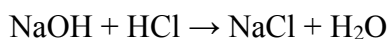
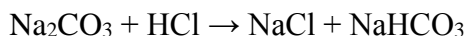
основными свойствами характеризуется гидрокарбонат натрия. При равных массовых концентрациях Na_2CO_3 и $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ молярность раствора первого соединения будет больше (поскольку оно имеет меньшую молярную массу), поэтому рН его раствора будет выше. Наконец, самым сильным основанием является NaOH , при этом молярность его раствора будет еще больше, поскольку молярная масса NaOH меньше, чем Na_2CO_3 . На основании этих соображений получим следующий ряд:



3. С метиловым оранжевым:



С фенолфталеином:



4. Сравним объемы титранта, затраченные на титрование каждой смеси с метиловым оранжевым ($V_{\text{МО}}$) и с фенолфталеином ($V_{\text{ФФ}}$). Поскольку ни в одном случае не имеем равенства $V_{\text{МО}} = 2V_{\text{ФФ}}$ (которое выполнялось бы при титровании раствора, содержащего только карбонат), то нет смеси, состоящей из Na_2CO_3 и $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. А так как по условию известно, что все 4 компонента в смесях различны, то, следовательно, нет и смеси, состоящей из NaHCO_3 и NaOH . Значит, одним из компонентов как смеси 1, так и смеси 2 является карбонат натрия или его гидрат. Что же представляет собой второй компонент смеси 1 и смеси 2?

Как было сказано выше, при титровании только карбоната натрия выполняется соотношение: $V_{\text{МО}} = 2V_{\text{ФФ}}$ или, что то же самое, $V_{\text{ФФ}} = V_{\text{МО}} - V_{\text{ФФ}}$. В последнем случае левая часть отвечает объему титранта, пошедшему на титрование карбоната до гидрокарбоната, а правая – объему титранта, пошедшему на титрование гидрокарбоната до угольной кислоты. Очевидно, что если помимо карбоната в смеси присутствует гидрокарбонат, то будем иметь неравенство $V_{\text{ФФ}} < V_{\text{МО}} - V_{\text{ФФ}}$, а если в смеси присутствует гидроксид, который вместе с карбонатом титруется по фенолфталеину, то будет верно обратное: $V_{\text{ФФ}} > V_{\text{МО}} - V_{\text{ФФ}}$. Сравнивая объемы титранта, приведенные в условии задачи, приходим к выводу, что в смеси 1 присутствует NaOH , а в смеси 2 – NaHCO_3 .

Остается выяснить, в какой смеси содержится сам карбонат натрия, а в какой – его гидрат. Чтобы это сделать, обозначим компонент смеси 1 за X_1 , а компонент смеси 2 – за X_2 .

Тогда, если концентрацию HCl (моль/л) принять равной c (точная величина концентрации не имеет значения, так как из расчетов видно, что концентрация сокращается), то:

$$\begin{cases} 2\nu(X_1) + \nu(\text{NaOH}) = 13c \\ \nu(X_1) + \nu(\text{NaOH}) = 10,7c \\ 2\nu(X_2) + \nu(\text{NaHCO}_3) = 13c \\ \nu(X_2) = 1,5c \end{cases}, \text{ где } \nu - \text{ количество вещества (ммоль).}$$

Отсюда находим: $\nu(X_1) = 2,3c$; $\nu(\text{NaOH}) = 8,4c$; $\nu(X_2) = 1,5c$; $\nu(\text{NaHCO}_3) = 10c$. Тогда массы смесей (мг) выразятся как: $m_1 = M(X_1) \cdot 2,3c + 40 \cdot 8,4c$, $m_2 = M(X_2) \cdot 1,5c + 84 \cdot 10c$. Поскольку по условию $m_1 = m_2$, приравняем правые части этих выражений и после несложных преобразований получим: $2,3M(X_1) = 1,5M(X_2) + 504$. Если принять $X_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3$ ($M(X_2) = 106$), то получим $M(X_1) = 288$, что близко к молярной массе декагидрата карбоната натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, рассматриваемые смеси имеют следующий качественный состав:
1) NaOH + Na₂CO₃ · 10H₂O; 2) NaHCO₃ + Na₂CO₃.

Вычислим массовые доли компонентов:

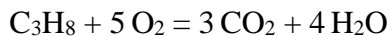
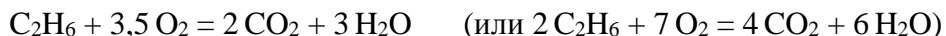
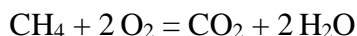
$$\begin{aligned} 1) \quad \omega(\text{NaOH}) &= \frac{40 \cdot 8,4c}{286 \cdot 2,3c + 40 \cdot 8,4c} \cdot 100\% = 33,8\%, & \text{Смесь I} \\ \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) &= 66,2\% \\ 2) \quad \omega(\text{NaHCO}_3) &= \frac{84 \cdot 10c}{106 \cdot 1,5c + 84 \cdot 10c} \cdot 100\% = 84,1\%, & \text{Смесь II} \\ \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 15,9\% \end{aligned}$$

Система оценивания:

формулы веществ – 4 по 0,5 балла	2 балла
названия веществ – 4 по 0,5 балла	2 балла
названия сод – 4 по 0,5 балла	2 балла
каждая правильно упорядоченная (по возрастанию рН) пара соседних членов ряда – по 0,5 балла	1,5 балла
каждое уравнение реакции – 5 по 0,5 балла	2,5 балла
каждый правильно отнесенный компонент смеси – 4 по 1,5 балла	6 баллов
расчет массовой доли компонента – 4 по 1 баллу	4 балла
ИТОГО	20 баллов

Решение задачи 9-5 (авторы Каргов С. И., Ерёмин В. В.)

1) Уравнения сгорания углеводородов в кислороде:



2) Теплоты сгорания на 1 грамм углеводорода:

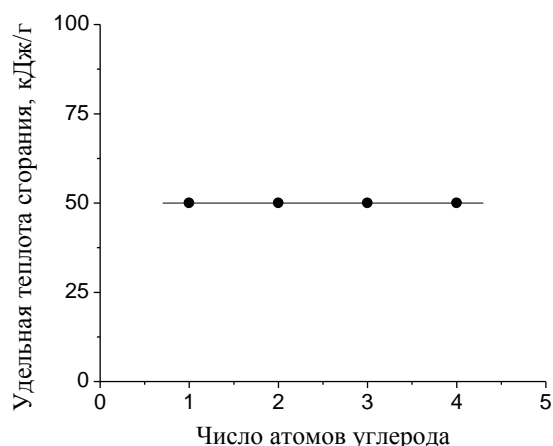
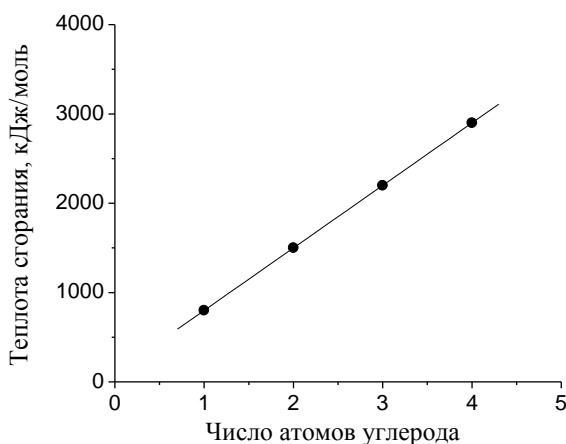
$$Q_1 = 800 \text{ кДж/моль} / 16 \text{ г/моль} = 50 \text{ кДж/г}$$

$$Q_2 = 1500 \text{ кДж/моль} / 30 \text{ г/моль} = 50 \text{ кДж/г}$$

$$Q_3 = 2200 \text{ кДж/моль} / 44 \text{ г/моль} = 50 \text{ кДж/г}$$

$$Q_4 = 2900 \text{ кДж/моль} / 58 \text{ г/моль} = 50 \text{ кДж/г}$$

3) Графики:



Молярные теплоты сгорания алканов линейно зависят от числа атомов углерода в молекуле. При увеличении числа атомов на 1 теплота увеличивается на 700 кДж/моль. Уравнение:

$$Q_{\text{сгор}}(n) = 100 + 700n \text{ (кДж/моль)}.$$

Объяснение: каждая последующая молекула алкана отличается от предыдущей на группу CH_2 , и каждая такая группа вносит приблизительно одинаковый вклад в теплоту сгорания.

Удельная теплота сгорания алканов в пределах точности данных постоянна и составляет 50 кДж/г. Уравнение:

$$Q_{\text{удельн}} = 50 \text{ кДж/г}.$$

4) Найдем молярную теплоту сгорания неизвестного алкана:

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = PV / RT = 101,3 \cdot 4,1 / (8,314 \cdot 333) = 0,15 \text{ моль}$$

$$Q_{\text{сгор}} = 540 / 0,15 = 3600 \text{ кДж/моль}$$

$$100 + 700n = 3600$$

$n = 5$, формула алкана – C_5H_{12} (пентан).

5) Согласно полученной линейной зависимости, теплота сгорания для нулевого числа атомов углерода равна

$$Q(0) = Q(1) - 700 = 100 \text{ кДж/моль.}$$

Полученное оценочное значение соответствует сгоранию водорода, поскольку если вычесть из CH_4 группу CH_2 , то получится H_2 .

Система оценивания:

1. Уравнения реакций – по 1 баллу за каждое правильное уравнение	4 балла
2. Теплоты сгорания на 1 г – по 1 баллу за каждое правильное значение	4 балла
3. Правильный график – по 2 балла, за каждое правильное уравнение – по 2 балла	8 баллов
4. За правильный расчёт теплоты сгорания– 1 балл, за правильное определение формулы алкана – 1 балл	2 балла
5. За правильное значение – 1 балл за правильный ответ на вопрос – 1 балл	2 балла
ИТОГО 20 баллов	