

**«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ». Химия.
ОЧНЫЙ ФИНАЛЬНЫЙ ТУР 2020/21**

Время на выполнение заданий – 180 минут.

10 класс

Задача 10-1

Давным-давно жил на свете бедный Химик. Чтобы заработать на жизнь, он начал изготавливать на продажу стеклянную посуду. Химик взял 190.08 г смеси трёх карбонатов в мольном соотношении 1:2:1 и 345.6 г чистого песка, поместил их в глиняный сосуд и нагрел до высокой температуры. В это время к нему подошла жена, сказала, что уходит от него из-за его бедности и бросила золотое обручальное кольцо в глиняный сосуд. Из полученного стекла (масса $m = 454.0$ г, плотность $\rho = 4.0$ г/см³, не содержит углерода) Химик изготовил посуду и продал её. Посуда оказалась такой красивой, что ее стали часто заказывать и вскоре Химик разбогател, жена вернулась к нему и стали они жить долго и счастливо.

1. Учитывая, что золото в стекле находилось в коллоидном металлическом состоянии, рассчитайте массу обручального кольца, если в 1 мм³ образовавшегося стекла содержалось $7.54 \cdot 10^{16}$ атомов золота.

2. Стекло состоит из оксидов. Определите эти оксиды и их мольные соотношения в образовавшемся стекле, если известно, что исходные компоненты прореагировали полностью, а мольные соотношения являются целыми числами. Карбонаты, взятые в эквимольном соотношении, являются солями металлов, принадлежащих одной группе Периодической системы, а третий карбонат включает металл из соседней группы и окрашивает пламя в жёлтый цвет.

Решение

1.

Объем стекла равен $V = m/\rho = 454 \text{ г} / 4 \text{ г/см}^3 = 113.5 \text{ см}^3 = 113.5 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$.

В этом стекле содержалось $7.54 \cdot 10^{16} \cdot 113.5 \cdot 10^3 = 8.56 \cdot 10^{21}$ атомов золота или $8.56 \cdot 10^{21} / 6.02 \cdot 10^{23} = 0.0142$ моль массой $0.0142 \text{ моль} \cdot 197 \text{ г/моль} = 2.8 \text{ г}$.

2.

Масса стекла без золота равна $454.0 - 2.8 = 451.2 \text{ г}$. Стекло не содержит углерода, то есть SiO₂ заместил весь CO₂. Стекло представляет собой смесь оксидов трех металлов и SiO₂. По условию масса SiO₂ составляет 345.6 г, тогда масса оксидов металлов равна

$m(\text{оксидов}) = 451.2 - 345.6 = 105.6 \text{ г}$, а масса карбонатов – 190.08 г. При нагревании карбонатов выделилось $190.08 - 105.6 = 84.48 \text{ г CO}_2$.

Один из карбонатов, взятый в избытке – это карбонат натрия Na₂CO₃, так как натрий окрашивает пламя в желтый цвет. Два других карбоната, взятые в эквимольном соотношении, являются солями металлов второй группы и имеют состав ACO₃ и BCO₃.

Пусть количество веществ ACO₃ и BCO₃ равно по x моль, тогда количество вещества Na₂CO₃ равно $2x$ моль.

$$m(\text{карбонатов}) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) + n(\text{ACO}_3) \cdot M(\text{ACO}_3) + n(\text{BCO}_3) \cdot M(\text{BCO}_3);$$
$$190.08 = 2x \cdot 106 + x \cdot (M(A) + 60) + x \cdot (M(B) + 60).$$

Аналогичное соотношение можно записать для оксидов металлов и углекислого газа:

$$m(\text{оксидов}) = n(\text{Na}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) + n(\text{AO}) \cdot M(\text{AO}) + n(\text{BO}) \cdot M(\text{BO});$$
$$105.6 = 2x \cdot 62 + x \cdot (M(A) + 16) + x \cdot (M(B) + 16).$$

$$m(\text{CO}_2) = (n(\text{Na}_2\text{CO}_3) + n(\text{ACO}_3) + n(\text{BCO}_3)) \cdot M(\text{CO}_2);$$
$$84.48 = (2x + x + x) \cdot 44.$$

Решением системы уравнений получаем, что $x=0.48$ моль, $M(A)=40$ г/моль (кальций); $M(B)=24$ г/моль (магний).

Таким образом, стекло имеет следующий состав 0.96 моль Na_2O , 0.48 моль CaO , 0.48 моль MgO и $345.6/60=5.76$ моль SiO_2 .

$n(Na_2O) : n(CaO) : n(MgO) : n(SiO_2) = 2 : 1 : 1 : 12$.

$2Na_2O \cdot CaO \cdot MgO \cdot 12SiO_2$

Разбалловка:

За расчет массы кольца (расчет + правильный ответ)

2+3=5 б

За установление состава стекла (расчеты + правильный ответ)

10+10=20б

Итого 25 баллов

Задача 10-2

При сжигании 89.2 мг зеленого пигмента, выделенного из листьев деревьев, в избытке кислорода образуется 242 мг **А**, 64.8 мг **Б**, 5.60 мг **В** и 4.00 мг **Г**.

1. О каких веществах идет речь, если известно, что **А** – это газ, который используют для газирования напитков, **Б** – жидкость, которая является основой этих напитков, **В** – газ, содержащийся в воздухе, **Г** – белый порошок, который является оксидом легкого широко используемого металла, содержание которого в земной коре составляет около 2.35%.

2. Установите химическую формулу пигмента, учитывая, что его молекула содержит только один атом металла.

3. Напишите уравнение реакции горения пигмента.

Решение

1.

Напитки газифицируют углекислым газом, основой напитков является вода, самый распространенный газ в атмосфере – азот, а белый порошок – это оксид магния.

2.

Определим количества образованных веществ и массы элементов в молекуле пигмента:

$n(CO_2) = 242 \text{ мг} / 44 \text{ г/моль} = 5.5 \text{ ммоль}$; $n(C) = 5.5 \text{ ммоль}$; $m(C) = 5.5 \cdot 12 = 66 \text{ мг}$.

$n(H_2O) = 64.8 \text{ мг} / 18 \text{ г/моль} = 3.6 \text{ ммоль}$; $n(H) = 7.2 \text{ ммоль}$; $m(H) = 7.2 \cdot 1 = 7.2 \text{ мг}$.

$n(N_2) = 5.6 \text{ мг} / 28 \text{ г/моль} = 0.2 \text{ ммоль}$; $n(N) = 0.4 \text{ ммоль}$; $m(N) = 0.4 \cdot 14 = 5.6 \text{ мг}$.

$n(MgO) = 4.0 \text{ мг} / 40 \text{ г/моль} = 0.1 \text{ ммоль}$; $n(Mg) = 0.1 \text{ ммоль}$; $m(Mg) = 0.1 \cdot 24 = 2.4 \text{ мг}$.

$m(O) = 89.2 - 66 - 7.2 - 5.6 - 2.4 = 8 \text{ мг}$; $n(O) = 8 / 16 = 0.5 \text{ ммоль}$.

Соотношение количеств элементов в молекуле пигмента:

$n(C) : n(H) : n(N) : n(O) : n(Mg) = 5.5 : 7.2 : 0.4 : 0.5 : 0.1 = 55 : 72 : 4 : 5 : 1$.

Таким образом, формула пигмента $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$.

3.

$C_{55}H_{72}N_4O_5Mg + 71O_2 = 55CO_2 + 36H_2O + 2N_2 + MgO$.

Разбалловка:

За указание веществ по 2 б

2·4 = 8 б

За установление формулы

12б

За уравнение реакции

5 б

Итого 25 баллов

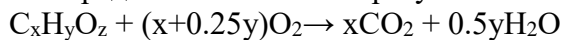
Задача 10-3

При полном сгорании 32.8г вещества **А** выделяются 105.6г CO_2 и 36г воды. Молекула **А** имеет неразветвленное ациклическое строение, валентные углы всех углеродных атомов меньше 150° . Вещество **А** может существовать в виде трех геометрических (цис-транс) изомеров. В реакции **А** с HBr (1:1) образуются 2 изомера: **Б** и **В**, которые при нагревании с водным раствором щелочи превращаются соответственно в вещества **С** и **Д**. Водный раствор $KMnO_4$ окисляет **С** и **Д** в один и тот же продукт **Е** с молярной массой 134 г/моль. Запишите

структурные формулы молекул А-Е, обоснуйте выбор их строения. Нарисуйте пространственное строение трех геометрических изомеров исходного А. Составьте уравнения описанных реакций, а также общие схемы получения Е и озонлиза А.

Решение

1. Определим состав А по результатам сгорания. Пусть общая формула А будет $C_xH_yO_z$.



$$n(CO_2) = 105.6/44 = 2.4 \text{ моль. } n(C) = 2.4 \text{ моль. } m(C) = 2.4 \cdot 12 = 28.8 \text{ г.}$$

$$n(H_2O) = 36/18 = 2 \text{ моль. } n(H) = 4 \text{ моль. } m(H) = 4 \cdot 1 = 4 \text{ г.}$$

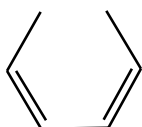
Суммарная масса элементов С и Н составляет $28.8 + 4 = 32.8 \text{ г}$, она равна массе исходного А, значит кислорода в молекуле А нет, это углеводород C_xH_y .

Мольное соотношение $C:H = 2.4:4 = 1:1.667 = 3:5$. Простейшая формула — C_6H_{10} (поскольку для любого углеводорода число атомов водорода четное).

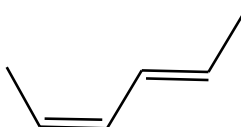
Состав C_nH_{2n-2} указывает на то, что это неразветвленный сопряженный или изолированный диен (не может быть алкином, кумулированным диеном, так как имелись бы *sp*-гибридные атомы углерода, а их валентные углы были бы 180°).

Предположим, что формула вещества А совпадает с простейшей C_6H_{10} . Тогда варианты строения следующие:

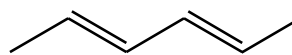
- гексадиен-1,5 не имеет цис-транс изомеров, он не подходит.
- гексадиен-1,4 имеет только 2 изомера (цис и транс), он не подходит.
- гексадиен-1,3 тоже имеет только 2 изомера (цис и транс), он не подходит.
- **гексадиен-2,4** имеет 3 геом. изомера (цис-цис; цис-транс; транс-транс). Он подходит.



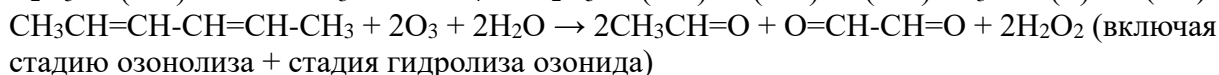
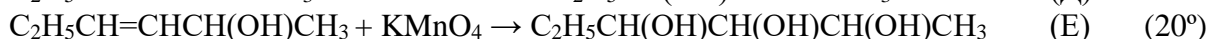
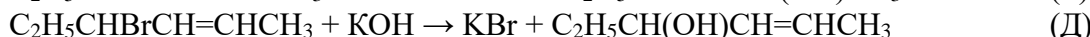
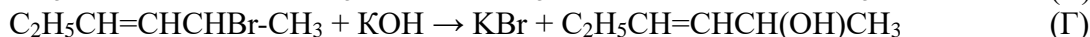
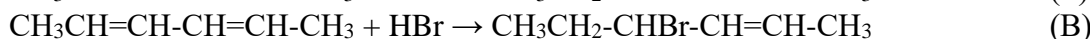
цис-цис



цис-транс



транс-транс



Формула полученного продукта Е $C_6H_{14}O_3$, $M = 143 \text{ г/моль}$, это совпадает с условием задачи, значит верно, что истинная формула А совпадает с простейшей C_6H_{10} .

Разбалловка

За вывод формулы C_6H_{10}	36
За обоснование гексадиена-2,4 и невозможности выбора алкинов, кумулированного диена, циклоалкена, трех гексадиенов (1,3; 1,4; 1,5)	26
За три рисунка геометрических изомеров гексадиена-2,4 по 26	66
За 7 уравнений реакции по 26	146

Итого 25 баллов

Задача 10-4

Твердый кристаллогидрат А ацетата натрия содержит 16.91% металла. При нагревании его выше 58°C он плавится. Будучи медленно охлажденным в покое до комнатной температуры, он остается жидким, но дальше при энергичном перемешивании стеклянной палочкой быстро сам разогревается. Такой опыт имеет название «химическая грелка».

1. Определите формулу кристаллогидрата А.

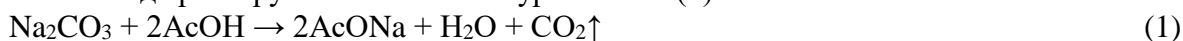
2. Что происходит с веществом в момент разогревания, откуда берется энергия?
3. Рассчитайте мольную энтальпию данного процесса, если в опыте с 27.2г кристаллогидрата А выделилась энергия, достаточная для нагревания 180г воды на 10°C (известно, что теплоемкость воды $C(H_2O_{ж})=4.183$ Дж/г·град.
4. Имеются 4 таблетки соды (по 1.060г безводного карбоната натрия в каждой), 4 таблетки безводного ацетата натрия (по 0.5000г), 4 ампулки с 43.497%-ным водным уксусом (по 5.5176г). Сколько каких таблеток и ампул нужно использовать, чтобы после перемешивания полученной смеси при нагревании с последующим охлаждением до комнатной температуры сразу получить чистый кристаллогидрат А нужного состава?



Решение

1. Запишем общую формулу кристаллогидрата как $CH_3COONa \cdot nH_2O$ или $AcONa \cdot nH_2O$. Найдем $\omega(Na)=23/(82+18n)=0.1691$. $82+18n=136$. $n=3$. Формула А: **$AcONa \cdot 3H_2O$** .
2. Во время затвердевания пересыщенного раствора ацетата натрия происходит **кристаллизация $AcONa \cdot 3H_2O$** и выделяется энергия за счет **образования прочной кристаллической решетки**.
3. Найдем $n(AcONa \cdot 3H_2O)=27.2/136=0.2$ моль. Найдем выделившееся Q по теплоемкости воды. $Q=C(H_2O_{ж}) \cdot m(H_2O) \cdot \Delta T=4.183 \cdot 180 \cdot 10=7529.4$ Дж. Найдем мольную энтальпию кристаллизации $AcONa \cdot 3H_2O$. $\Delta H(крис. AcONa \cdot 3H_2O)=-Q/n(AcONa \cdot 3H_2O)=-7529.4/0.2=-37647$ Дж/моль = **-37.647 кДж/моль**.
4. Определим количества веществ в каждой таблетке и ампуле:
 - В 1 таблетке соды $n(Na_2CO_3)=1.06/106=0.01$ моль.
 - В 1 таблетке ацетата $n(AcONa)=0.5/82=0.0061$ моль.
 - В 1 ампулке уксуса $n(AcOH)=5.5176 \cdot 0.43497/60=0.04$ моль, а также $n(H_2O)=5.5176 \cdot (1-0.43497)/18=0.1732$ моль.

Сода реагирует с кислотой по уравнению (1):



Соотношение соды и кислоты должно быть 2:1. Значит должны быть два варианта комбинаций:

- а) **2 таблетки соды + 1 ампула уксуса,**
- б) 4 таблетки соды + 2 ампулы уксуса.

Проверим вариант №1. В результате реакции по уравнению (1) получатся $AcONa$ 0.04 моль и H_2O (0.02 моль).

Суммарное количество воды получится $n(H_2O)=0.1732+0.02=0.1932$ моль

Для образования тригидрата $AcONa \cdot 3H_2O$ из этого количества воды потребуется

$n(AcONa)=0.1932/3=0.0644$ моль. По уравнению (1) уже выделилось 0.04 моль, значит пока не хватает 0.0244 моль $AcONa$. Такое количество содержится ровно в **4 таблетках ацетата**. Вариант (б) не подходит, так как не хватит таблеток ацетата.

Разбалловка

За формулу кристаллогидрата $AcONa \cdot 3H_2O$	36
За объяснение причины выделения теплоты	36
За расчет $Q=7529.4$ Дж и $\Delta H_{крис.}=-37.647$ кДж/моль по 36	66
За уравнение реакции	36
За указание количества таблеток и ампул 2+4+1 по 26	66
За $n(H_2O)=0.1732+0.02=0.1932$ моль и $n(AcONa)=0.04+0.0244=0.0644$ моль по 26	46

Итого 25 баллов