

**РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ**  
**(максимум 120 баллов)**

1. Кристаллическое вещество А длительное время лежало на горячей поверхности, затем взяли его 1 г и растворили в 100 мл воды, при этом образовался голубой раствор. При внесении в раствор цинковой пластинки её масса уменьшилась на 8,636 мг. Определите массу кристаллического вещества А в момент приготовления. Какой объём газа выделится (в пересчёте на нормальные условия) при прокаливании 1 г вещества А, взятого для растворения, до 700°C? Напишите соответствующие уравнения реакций.

**РЕШЕНИЕ**

По характерным признакам реакций (образование голубого раствора, вытеснение металла из соли металлическим цинком, причём металла с меньшей атомной массой) можно предположить, что вещество А является солью меди, наиболее вероятно, медным купоросом  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , при длительном лежании теряющий часть кристаллизационной воды  $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (**2 балла** за предположение формулы А с обоснованием)

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O} + (5-x)\text{H}_2\text{O}$  – **2 балла** за уравнение реакции (если не уравнено правильно то 1 балл)

$\text{CuSO}_4 + \text{Zn} = \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$  – **2 балла** за уравнение реакции (если не уравнено правильно то 1 балл)

Убыль массы цинковой пластинки согласно этому уравнению пропорциональна количеству сульфата меди в растворе:  $m(\text{Zn}) - m(\text{Cu}) = (65,39 - 63,545) \cdot n(\text{CuSO}_4) = 0,008636$  г (по условию), отсюда  $n(\text{CuSO}_4) = 0,004681$  моль (**2 балла** за расчёт)

Масса свежеприготовленного вещества А равна  $n(\text{CuSO}_4) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,004681 \cdot 249,682 = 1,168701$  г (**2 балла** за расчёт, из них 1 балл за расчёт молярной массы)

Запишем суммарное уравнение реакции, происходящей при прокаливании  $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ :

$2\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuO} + 2x\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$  **3 балла** за уравнение реакции (если не уравнено правильно, то 1 балл)

Согласно этому уравнению количество газа при этом будет равно  $(2x+2+1)/2 = x+1,5$  моль на моль исходного вещества **2 балла**

Составим уравнение  $x: 1\text{г} = 0,004681\text{моль} \cdot (159,607 + 18,015 \cdot x)$  г/моль **2 балла**

Решим уравнение  $x=3$  **1 балл**

Тогда количество газа равно  $(3+1,5) \cdot 0,004681 = 0,021$  моль **1 балл**

И его объём в пересчёте на нормальные условия составит  $22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,021 \text{ моль} = 0,472 \text{ л}$  **1 балл**

(всего до 4 баллов за расчёт объёма газа и 3 баллов за расчёт  $x$ )

Всего за задачу – до 20 баллов

2. Молекула некоторого вещества содержит 10 протонов. Натрий растворяется в этом веществе и медленно с ним реагирует. Предположите химический состав и структуру этого вещества. Рассчитайте плотность вещества при температуре  $25^\circ\text{C}$  и давлении  $101325 \text{ Па}$ . Запишите уравнение химической реакции вещества с натрием. Предположите, как ведут себя на воздухе продукты этой реакции, содержащие атом металла (запишите соответствующие уравнения).

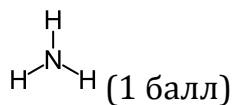
#### РЕШЕНИЕ

Найдём, молекулы каких веществ содержат по 10 протонов. Это  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ . Из них удовлетворяет условию по реакционной способности с натрием только  $\text{NH}_3$  – в жидком состоянии (4 балла – 2 балла за перечисление и 2 балла за обоснованное указание на верный вариант).

Реакция с натрием идёт подобно реакции с водой:

$2\text{Na} + 2\text{NH}_3 = 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2\uparrow$  (2 балла, 1 балл при неправильных коэффициентах)

Структура аммиака



При указанных условиях аммиак является газом. Его плотность может быть рассчитана с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$pV = nRT,$$

откуда

$$\rho = \mu \frac{p}{RT}$$

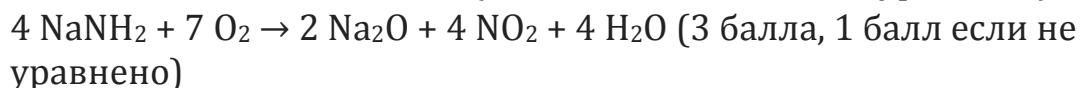
**(2 балла)**

Подставим параметры, учитывая правильные размерности (молярная масса  $17 \text{ г/моль}$ ,  $298 \text{ K}$ ):

$$\rho = 17 * \frac{101325}{8,314 * 298} = 695 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} = 0,695 \frac{\text{г}}{\text{л}}$$

(2 балла)

Уравнения реакций, происходящих на воздухе (минимум 2, с H<sub>2</sub>O и O<sub>2</sub>):



Всего – до 16 баллов за задачу

3. Литр (в расчёте на нормальные условия) смеси оксида углерода (II) и оксида углерода (IV) с относительной плотностью по водороду 16 пропустили через 56 г раствора гидроксида калия в воде с массовой концентрацией 1%. Рассчитайте массу соли, получившейся в результате реакции.

**РЕШЕНИЕ**

Оксид углерода (II) CO - несолеобразующий оксид, поэтому в реакцию со щелочью вступает только углекислый газ - оксид углерода (IV). **2 балла** за указание отсутствия взаимодействия оксида углерода (II)

Рассчитаем мольную долю углекислого газа в смеси. Средняя молярная масса смеси  $M = 2 \cdot 16 = 32$ . Мольную долю CO<sub>2</sub> в смеси примем за X; тогда мольная доля CO будет (1 – X). Средняя молярная масса смеси, с другой стороны, равна:  $44X + 28(1 - X) = 32$ . Отсюда  $X = 0,25$ . **(2 балла)**

Определим количество углекислого газа в смеси. Общее количество газа равно  $1 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,0446 \text{ моль}$ , из них  $0,0446 \cdot 0,25 = 0,0112 \text{ моль}$  углекислого газа **(2 балла)**

Масса гидроксида калия в растворе  $m(\text{KOH}) = 56 \cdot 0,01 = 0,56 \text{ г}$ ; Количество  $n(\text{KOH}) = 0,56 / 56 = 0,01 \text{ моль}$ . **(2 балла)**

В растворе возможны две реакции:

в избытке щёлочи  $2\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; **(2 балла, 1 балл если не уравнено)**

в недостатке  $\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{KHCO}_3$ ; **(2 балла, 1 балл если не уравнено)**

количество углекислого газа больше количества KOH, следовательно, реализуется второй вариант **(1 балл за указание на протекающую реакцию);**

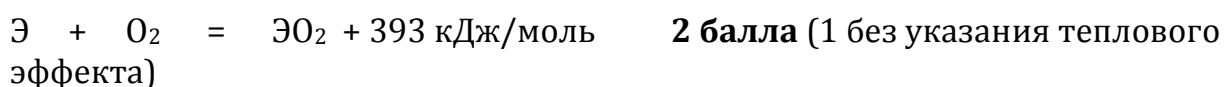
$m(\text{KHCO}_3) = 0,01 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 1 \text{ г}$ . **(2 балла, из них 1 балл за расчёт молярной массы гидрокарбоната)**

Всего – до 15 баллов за задачу

4. При взаимодействии 3,6 г простого вещества, образованного элементом Э, с кислородом образовался оксид элемента (IV) и выделилось 117,9 кДж теплоты. Определите молекулярную формулу оксида элемента (IV), назовите его. Теплота образования оксида элемента (IV) равна 393 кДж/моль. Образовавшийся оксид полностью взаимодействует с 164,45 г 14,6%-го раствора гидроксида натрия с образованием насыщенного при 20°C раствора соли. Вычислите массовую долю соли в растворе и ее растворимость в воде (в г/л, ответ округлите до целого числа).

#### РЕШЕНИЕ

Запишем уравнение реакции окисления в общем виде



По тепловому эффекту рассчитаем количество прореагировавшего Э

$$\nu(\text{Э}) = \nu(\text{ЭO}_2) = 117,9 \text{ кДж} / 393 \text{ кДж/моль} = 0,3 \text{ моль} \quad \mathbf{(2 \text{ балла})}$$

молярная масса Э составляет

$$x = 3,6 \text{ г} / 0,3 \text{ моль} = 12 \text{ г/моль} \quad \mathbf{(2 \text{ балла})}$$

Единственный вариант Э=C - углерод, CO<sub>2</sub> – углекислый газ, оксид углерода (IV)  
**2 балла**

$$\nu(\text{NaOH}) = (164,45 \text{ г} \cdot 0,146) / 40 \text{ г/моль} = 0,6 \text{ моль} \quad \mathbf{2 \text{ балла (1 балл за расчёт молярной массы)}}$$

$$\nu(\text{CO}_2) : \nu(\text{NaOH}) = 0,3 \text{ моль} : 0,6 \text{ моль} = 1 : 2 \text{ (щёлочь в избытке)} \quad \mathbf{1 \text{ балл}}$$

В этих условиях



соль – карбонат натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

$$m(\text{раствора Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{CO}_2) + m(\text{раствора NaOH})$$

$$m(\text{раствора Na}_2\text{CO}_3) = 0,3 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} + 164,45 \text{ г} = 177,65 \text{ г} \quad \mathbf{2 \text{ балла (1 балл за расчёт молярной массы)}}$$

массовая доля соли

$$\omega\%(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ((0,3 \text{ моль} \cdot 106 \text{ г/моль} / 177,65 \text{ г}) \cdot 100\% = 17,9\% \quad \mathbf{2 \text{ балла (1 балл за расчёт молярной массы)}}$$

растворимость (получившийся раствор является насыщенным)

$$S^{20}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3)/V(\text{H}_2\text{O}) = d(\text{H}_2\text{O}) (m(\text{Na}_2\text{CO}_3)/m(\text{H}_2\text{O}))$$

$$S^{20}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = (17,9 \text{ г} / (100-17,9) \text{ г}) \cdot 1000 \text{ г/л} = 218 \text{ г/л}$$

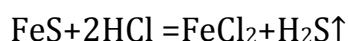
**2 балла**

**Всего до 19 баллов**

5. Газ, выделившийся при взаимодействии 62,2 мл 20%-го раствора соляной кислоты ( $\rho = 1,1 \text{ г/мл}$ ) с 11 г сульфида железа (II), пропустили через 100 мл 18%-го раствора сульфата меди (II) ( $\rho = 1,206 \text{ г/мл}$ ). Вычислите массу образовавшегося осадка. Рассчитайте, из какой массы медного купороса может быть получен использованный раствор сульфата меди.

### РЕШЕНИЕ

Запишем уравнения реакций



**2 балла**



**2 балла**

(за неправильную расстановку коэффициентов штраф 50%)

Определим количество участвующих в реакции веществ

$$v(\text{HCl}) = 62,2 \text{ мл} \cdot 1,1 \text{ г/мл} \cdot 0,2 / 36,5 \text{ г/моль} = 0,375 \text{ моль}$$

**2 балла** (из

них 1 балл за расчёт молярной массы)

$$v(\text{FeS}) = 11 \text{ г} / 88 \text{ г/моль} = 0,125 \text{ моль}$$

**2 балла** (из

них 1 балл за расчёт молярной массы)

соляная кислота в избытке ( $0,125 \cdot 2 = 0,25 < 0,375$ ), расчет необходимо производить по сульфиду железа (II)

**2 балла –**

за указание избытка кислоты

$$v(\text{H}_2\text{S}) = v(\text{FeS}) = 0,125 \text{ моль}$$

**1 балл**

$$v(\text{CuSO}_4) = 100 \text{ мл} \cdot 1,206 \text{ г/мл} \cdot 0,18 / 160 \text{ г/моль} = 0,136 \text{ моль}$$

**2 балла** (из

них 1 балл за расчёт молярной массы)

сульфат меди (II) в избытке ( $0,125 < 0,136$ ), расчет производим по сероводороду

**2 балла–** за указание избытка сульфата меди

$$m(\text{CuS}) = 0,125 \text{ моль} \cdot 96 \text{ г/моль} = 12 \text{ г}$$

**2 балла** (из

них 1 балл за расчёт молярной массы)

Расчёт массы медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ :

**1 балл за**

указание формулы

$$\text{Молярная масса } 160 + 5 \cdot 18 = 250 \text{ г/моль}$$

**1 балл**

$$\text{Масса } 0,136 \text{ моль} \cdot 250 \text{ г/моль} = 34 \text{ г}$$

**1 балл**

**всего – до 20 баллов**

6. *Мысленный эксперимент.* Проведите обнаружение водных растворов веществ. В семи пробирках находятся растворы соединений калия: фторида, хлорида, бромида, иодида, сульфида, ортофосфата и гидроксида (содержимое пробирок не повторяется, в каждой – раствор индивидуального вещества). Используя только

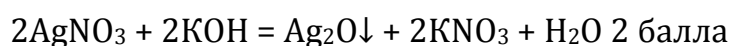
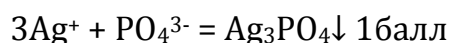
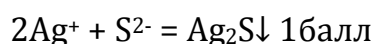
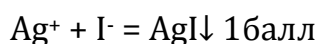
один выбранный вами реактив, определите содержимое каждой пробирки. Напишите уравнения реакций (молекулярные и сокращенные ионные).

### РЕШЕНИЕ

Поскольку все соединения являются ионными соединениями калия, для обнаружения можно, например, использовать раствор ионного соединения, катион которого образует осадки разного цвета с анионами обнаруживаемых соединений.

Возможное соединение в предоставленном растворе	Реакция на добавление по каплям водного раствора $\text{AgNO}_3$
1. $\text{KF}$	реакция не идет, $\text{AgF}$ растворим в воде
2. $\text{KCl}$	↓ белый $\text{AgCl}$
3. $\text{KBr}$	↓ желтоватый $\text{AgBr}$
4. $\text{KI}$	↓ светложелтый $\text{AgI}$
5. $\text{K}_2\text{S}$	↓ черный $\text{Ag}_2\text{S}$
6. $\text{K}_3\text{PO}_4$	↓ желтый $\text{Ag}_3\text{PO}_4$
7. $\text{KOH}$	↓ коричневый $\text{Ag}_2\text{O}$

Реакции:



$2\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^- = \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$  1 балл

(за неправильную расстановку коэффициентов – 50% штраф для оценки за уравнение реакции)

Разбалловка:

уравнения химических реакций – как указано (до 13 баллов)

обоснование выбора реактива – 1 балл (вне зависимости от правильности результата)

выбор реактива – 1 балл (если предложен другой реактив, а не нитрат серебра, оценка не снижается)

за составление таблицы (систематизацию процесса обнаружения в иной форме) 1 балл

указание признаков реакций по 2 балла ( $2 \cdot 7 = 14$  баллов)

**Итого – до 30 баллов**