

Ключи, критерии оценивания заданий
муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников
2024/2025 учебный год

Химия
10 класс

Продолжительность – 240 минут
Максимальный балл – 100

Задача 1

Надувной шарик (масса оболочки 1.3 г) объемом 1.5 л заполнен смесью двух газов. Он неподвижно висит в комнате при температуре 20°C и атмосферном давлении.

1. Определите компоненты газовой смеси, которой заполнен шарик, если это – пассивные неорганические вещества, состоящие из стабильных природных изотопов элементов. Известно, что простых газов с молярными массами, которые являлись бы промежуточными между молярными массами неизвестных газов, не существует.

2. Определите массовую долю каждого газа в смеси.

3. Опустится шарик или поднимется, если: а) в комнате похолодало, а температура внутри шарика не успела так быстро измениться; б) увеличилось атмосферное давление; в) увеличилась влажность воздуха?

Среднюю молярную массу воздуха считайте равной 29 г/моль.

20 баллов

Решение.

$$1. m(\text{оболочки}) + m(\text{смеси}) = m(\text{воздуха})$$

$$\text{Уравнение Менделеева-Клапейрона } pV = RTm/M$$

$$p = 101,3 \text{ кПа}$$

$$m = (pVM)/RT$$

$$m(\text{воздуха}) = 1 \times 1,5 \times 29 / (0,082 \times 293) = 1,81 \text{ г}$$

$$m(\text{смеси}) = 1,81 - 1,3 = 0,51 \text{ г}$$

$$V_0 = V \times T_0 / T = 1,5 \times 273 / 293 = 1,40 \text{ л}$$

$$M = m / (V/V_0) = 0,51 / (1,40 / 22,4) = 8,16 \text{ г/моль.}$$

(10 баллов)

$$2. \text{He, } M_1 = 4 \text{ г/моль} \quad \text{Ne, } M_2 = 20 \text{ г/моль}$$

$$M = 4 \times X_1 + 20 \times (1 - X_1)$$

$$X_1 = 0,74 \quad X_2 = 0,26$$

$$w_1 = 0,74 \times 4 / (0,74 \times 4 + 0,26 \times 20) = 0,36$$

$$w_2 = 1 - 0,36 = 0,64$$

(7 баллов)

3. а) в комнате похолодало, а температура внутри шарика не успела так быстро измениться – поднимется (1 балл)
 б) увеличилось атмосферное давление – останется на месте (1 балл)
 в) увеличилась влажность воздуха – опустится (1 балл)
20 баллов

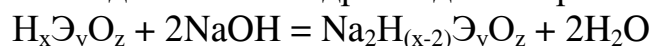
Задача 2

Молекулы одно-, двух- и трехосновной кислот одного и того же химического элемента различаются лишь числом атомов кислорода. Определите химические формулы всех трех кислот, если известно, что 1,000 г гидроксида натрия реагирует без остатка либо с 1,650 г одноосновной кислоты, либо с 1,025 г двухосновной кислоты, причем массовая доля кислорода в последней кислоте равна массовой доле кислорода в сернистой кислоте.

(20 баллов)

Решение.

1. Составим формулу двухосновной кислоты в общем виде ($H_xE_yO_z$) и уравнение реакции ее взаимодействия с гидроксидом натрия:



Согласно уравнению, $n(H_xE_yO_z) = \frac{1}{2} n(NaOH) = \frac{1}{2} m(NaOH) / M(NaOH)$

$$n(H_xE_yO_z) = 0,5 \cdot 1,000 : 40 = 0,0125 \text{ (моль)}.$$

Значит, $M(H_xE_yO_z) = m(H_xE_yO_z) / n(H_xE_yO_z)$

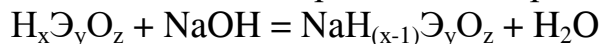
$$M(H_xE_yO_z) = 1,025 : 0,0125 = 82 \text{ (г/моль)}. \quad (2 \text{ балла})$$

2. Относительная молекулярная масса сернистой кислоты H_2SO_3

$M_r(H_2SO_3) = 82$, следовательно ее молярная масса $M(H_2SO_3) = 82 \text{ г/моль}$.

Поскольку $M(H_xE_yO_z) = M(H_2SO_3)$ и $\omega(H_xE_yO_z) = \omega(H_2SO_3)$, то число атомов кислорода в двухосновной кислоте равно числу атомов кислорода в сернистой кислоте, т.е. $z = 3$. Поэтому формулу двухосновной кислоты можно представить в общем виде: $H_xE_yO_3$. (2 балла)

3. Составим формулу одноосновной кислоты в общем виде ($H_xE_yO_z$) и уравнение реакции ее взаимодействия с гидроксидом натрия:



Согласно уравнению, $n(H_xE_yO_z) = n(NaOH) = m(NaOH) / M(NaOH)$

$$n(H_xE_yO_z) = 1,000 : 40 = 0,025 \text{ (моль)}.$$

Значит, $M(H_xE_yO_z) = m(H_xE_yO_z) / n(H_xE_yO_z)$

$$M(H_xE_yO_z) = 1,650 : 0,025 = 66 \text{ (г/моль)}. \quad (4 \text{ балла})$$

4. По разности молярных масс двухосновной и одноосновной кислот находим разность массы кислорода в 1 моль этих кислот: $82 - 66 = 16 \text{ г/моль}$. Значит, в молекуле одноосновной кислоты на 1 атом кислорода меньше, чем в молекуле двухосновной кислоты, т.е. $z = 2$. Поэтому формулу одноосновной кислоты можно представить в общем виде: $H_xE_yO_2$. (2 балла)

5. Таким образом, формулы одно-, двух- и трехосновной кислот в общем виде имеют вид: $H_xE_yO_2$, $H_xE_yO_3$ и $H_xE_yO_z$, где $x \geq 3$ (поскольку основность третьей кислоты равна трем).

Поскольку в этих формулах значения x и y не связаны между собой каким-либо определенным соотношением, рассмотрим различные варианты сочетаний значений x и y , и в каждом случае находим относительную атомную массу химического элемента Э по значению относительной молекулярной массы одноосновной (или двухосновной) кислоты $H_xЭ_yO_2$:

а) если $x = 3$, $y = 1$, то

$$3A_r(H) + A_r(Э) + 2A_r(O) = M_r(H_xЭ_yO_2)$$

$$A_r(Э) = M_r(H_xЭ_yO_2) - 3A_r(H) - 2A_r(O)$$

$$A_r(Э) = 66 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 16$$

$$A_r(Э) = 31$$

Искомый элемент – фосфор.

б) аналогично предыдущим рассуждениям: если $x = 3$, $y = 2$, то

$$3A_r(H) + 2A_r(Э) + 2A_r(O) = M_r(H_xЭ_yO_2)$$

$$A_r(Э) = 15,5$$

Такого элемента нет.

в) аналогично предыдущим рассуждениям: если $x = 4$, $y = 1$, то

$$4A_r(H) + A_r(Э) + 2A_r(O) = M_r(H_xЭ_yO_2)$$

$$A_r(Э) = 30$$

Такого элемента нет.

Другие варианты сочетаний значений x и y также не приведут к правильному значению $A_r(Э)$. (6 баллов)

Итак, формулы искомых кислот имеют вид:

- H_3PO_2 , или $H[PO_2H_2]$ (фосфиновая кислота),

- H_3PO_3 , или $H_2[PO_3H]$ (фосфоновая кислота),

- H_3PO_4 (ортофосфорная кислота).

(4 балла)

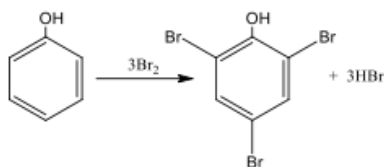
Задача 3

При взаимодействии 25 мл бензольного раствора свежеприготовленной смеси фенола, этилового спирта и уксусной кислоты с избытком металлического натрия выделилось 672 мл газа (условия нормальные). Для полной нейтрализации такого же объема смеси необходимо взять 18,18 мл 8%-ного раствора натра плотность 1.1 г/мл, а добавление бромной воды к полученному при нейтрализации раствору приводит к выделению 3,31 г осадка. Найдите молярную концентрацию в бензольном растворе каждого из растворенных веществ.

20 баллов

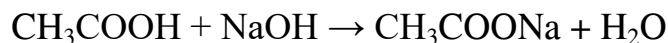
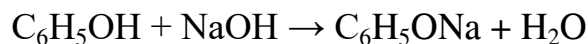
Решение.

С бромной водой реагирует только фенол:



$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 3,31/331 = 0,01 \text{ моль} \quad (4 \text{ балла})$$

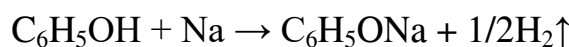
Щелочью нейтрализуются фенол и уксусная кислота:



Тогда их общее количество равно $18,18 \cdot 0,08 \cdot 1,1/40 = 0,04$ моль.

Следовательно, количество уксусной кислоты – 0,03 моль. (4 балла)

С натрием реагируют все три соединения:



При этом выделяется $0,672/22,4 = 0,03$ моль H_2 .

Значит суммарное количество всех трех веществ 0,06 моль, а этанола в растворе $n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,02$ моль. (2 балла)

Соответствующие молярные концентрации:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,4 \text{ моль}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,8 \text{ моль} \quad (4 \text{ балла})$$

20 баллов

Задача 4

Растворы двух неизвестных веществ смешали в эквивалентных количествах, выпало 1,25 г осадка, представляющего собой соль двухвалентного металла М. При нагревании до 1100°C осадок разлагается с образованием 0,70 г твердого оксида МО и газообразного оксида. При упаривании фильтрата осталось 2,0 г сухого остатка, дающего при термическом разложении при 215°C два продукта: газообразный оксид и 0,90 г водяных паров. Общий объем газообразных продуктов 1,68 л (н.у.). Определите неизвестные вещества и напишите уравнения упомянутых реакций.

20 баллов

Решение.

а) сухой остаток 2,0 г, H_2O : 0,90 г, т.е. 0,05 моль; оксид A_xO_y : 1,1 г

$$n(\text{смеси}) = 1,68/22,4 = 0,075 \text{ моль};$$

$$n(\text{A}_x\text{O}_y) = n(\text{смеси}) - n(\text{H}_2\text{O}) = 0,025 \text{ моль};$$

$$M(\text{A}_x\text{O}_y) = m/n = 1,1/0,025 = 44 \text{ г/моль} \quad (6 \text{ баллов})$$

б) осадок - соль двухвалентного металла, $n(\text{осадка}) = 0,0125$ моль;

$$M(\text{осадка}) = m/n = 1,25/0,0125 = 100;$$

$$n(\text{MO}) = 0,0125$$

$$M(\text{MO}) = m/n = 0,70/0,0125 = 56;$$

$$M(\text{M}) = M(\text{MO}) - M(\text{O}) = 56 - 16 = 40;$$

Металл: Ca

$$M \text{ кислотного остатка} = 100 - 40 = 60; \text{CaCO}_3 \quad (8 \text{ баллов})$$

в) Реакции:



20 баллов

Задача 5

Вещество А представляет собой кристаллогидрат некой соли. При нагревании до 200°C оно обезвоживается и теряет 29,6 % своей массы. При дальнейшем нагревании образовавшейся безводной соли Х до 400°C наблюдается разложение Х с выделением газа Г1 и образованием соли Б, причем масса Б составляет 54,9 % массы А. При сильном прокаливании соли Б выделяется газ Г2 и образуется вещество В. Масса В составляет 30,8 % массы исходного кристаллогидрата. Известно, что вещество В бурно реагирует с водой, а газ Г2 является продуктом сгорания Г1. Назовите формулу вещества А.

20 баллов

Решение.

Из условия: Г₁ - это CO, а Г₂ - это CO₂. (2 балл)

Тогда на последнем этапе карбонат превращается в оксид. Пусть масса исходного кристаллогидрата равна 100 г, тогда согласно условию задачи образовалось:

70,4 г безводной соли Х,

54,9 г карбоната металла,

30,8 г оксида металла.

(5 балла)

Обозначим за x – молярную массу металла, г/моль.

Молярная масса CO_3^{2-} : $M(\text{CO}_3^{2-}) = 60$ г/моль.

$$(60 + x) / 54,9 = (x + 16) / 30,8$$

$$x = 40 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, металл – кальций.

(4 балла)

Таким образом, Б – это CaCO₃.

Вычислим число моль CO, выделившегося при образовании CaCO₃:

$$54,9/100 = (70,4-54,9)/x, x = 28,2 \text{ г/моль, т. е. } n(\text{CO}) = 1 \text{ моль}$$

Так как на 1 моль CaCO_3 выделилось бы 1 моль CO ,

то формула X - CaC_2O_4 (оксалат кальция).

Найдем число моль H_2O , которое приходится в кристаллогидрате на 1 моль CaC_2O_4 :

$$M(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 128,1 \text{ г/моль}$$

$$70,4/128,1 = 29,6/x \quad x = 54 \text{ г (3 моль)} \quad (6 \text{ баллов})$$

Отсюда: А - это $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (1 балл)

Б - CO $\text{CaC}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}$ (1 балл)

В - CO_2 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (1 балл)

20 баллов