

Задача 1

Элементы А, В и С располагаются в одной подгруппе Периодической таблицы и обладают высокой токсичностью.

Так, элемент А входит в состав самых разнообразных ядов: начиная известным инсектицидом дихлофосом и заканчивая сильнейшими боевыми отравляющими веществами (зарин, VX, соединения семейства «новичок»). Простое вещество, образованное элементом А, находит применение и в мирных целях – например, при изготовлении спичек. Однако даже безобидная на первый взгляд спичечная промышленность долгое время считалась опасной именно по вине А – точнее, его аллотропной модификации A^1 : вдыхание паров этого вещества приводило к тяжелым отравлениям рабочих, из-за чего позднее в спичечном производстве стала использоваться другая, менее активная аллотропная модификация A^2 .

Тем не менее, у элемента А есть и другая сторона: он входит в состав важнейших органических соединений (АТФ, ДНК), необходим для построения костей и зубов.

Элемент В с древних времен известен как яд. Даже русскоязычное название В указывает на то, что его соединения – в частности, оксид – применялись для истребления грызунов. К сожалению, от него страдали не только мыши, но и люди. Его популярность была связана с тем, что симптомы отравления напоминают симптомы холеры, что и позволяло маскировать смерть от яда под смерть от естественных причин. Достоверно распознавать отравление элементом В стало возможно только в XIX веке благодаря способу, разработанному химиком Джеймсом Маршем. Способ заключается в добавлении к пробе, содержащей оксид В(III), соляной кислоты и цинка, в результате чего образуется летучее водородное соединение VH_3 (**реакция 1**), которое затем пропускают через раскаленную стеклянную трубку. Водородное соединение при этом разлагается с образованием простого вещества В (**реакция 2**), которое создает зеркальный налет на поверхности стекла.

Элемент С породил в свое время множество споров между врачами: одни считали С лекарством, другие – ядом. Существует мнение, что выражение «разводить антимонии» (вести долгие пустые разговоры) возникло именно тогда и происходит от устаревшего названия элемента С. В XIX веке, после множества отравлений, столь активное использование соединений С в медицине прекратилось.

Минерал (**М**), являющийся основным источником элемента С, считается также одним из самых древних косметических средств: он применялся для чернения бровей и гримировки глаз еще в Древнем Египте. Споры о том, насколько приемлемо использование соединений С в косметических целях, продолжают по сей день.

- 1) Определите элемент А. О каких аллотропных модификациях этого элемента (A^1 и A^2) идет речь в тексте? Известно, что модификация A^1 построена из молекул A_n . Найдите n, если относительная плотность паров A_n по воздуху составляет 4,28;
- 2) Определите элемент В и подтвердите ответ расчетом, если известно, что для получения 1 л водородного соединения VH_3 (н.у.) по **реакции 1** требуется менее 5 г оксида В(III);
- 3) Напишите уравнения **реакций 1 и 2**;
- 4) Упомянутый в тексте минерал **М** является бинарным соединением С с некоторым халькогеном Х и имеет формулу C_2X_3 . Относительная молекулярная масса C_2X_3 составляет 340. Определите элементы С и Х и подтвердите ответ расчетами.

(15 баллов)

РЕШЕНИЕ

- 1) Определим элемент А. Для этого найдем относительную молекулярную массу A_n .

$$M_r(A_n) = D_{\text{возд}}(A_n) \cdot M_r(\text{возд}) = 4,28 \cdot 29 \approx 124 \quad (1 \text{ балл})$$

Относительную атомную массу элемента А найдем перебором значений n.

$$A_r(A) = M_r(A_n) / n$$

Если $n = 2$, то $A_r(A) = 124/2 = 62$ (примерно соответствует Cu; не удовлетворяет условию)

Если $n = 3$, то $A_r(A) = 124/3 \approx 41,33$ (примерно соответствует Ca; не удовлетворяет условию)

Если $n = 4$, то $A_r(A) = 124/4 = 31$ (соответствует P)

Таким образом, **n = 4**, а элемент А – **фосфор (P)**. (2 балла)

A^1 – белый фосфор, обладающий высокой токсичностью и построенный из молекул P_4 ;

A^2 – красный фосфор, химически менее активный и имеющий полимерное строение.

(1 балл)

- 2) $v(\text{NH}_3) = V(\text{NH}_3) / V_m = 1/22,4 \approx 0,045$ моль

Поскольку формула оксида – B_2O_3 , можно предположить, что по реакции 1 из 1 моль B_2O_3 образуется 2 моль NH_3 . Отсюда:

$$v(\text{B}_2\text{O}_3) = v(\text{NH}_3) / 2 = 0,045 / 2 = 0,0225 \text{ моль} \quad (2 \text{ балла})$$

Так как масса B_2O_3 не превышает 5 г, его молярная масса составляет не более

$$5 \text{ г} / v(\text{B}_2\text{O}_3) = 5 \text{ г} / 0,0225 \text{ моль} \approx 222 \text{ г/моль.}$$

Относительная атомная масса $A_r(\text{B})$, соответственно, не превышает $(222 - 3 \cdot A_r(\text{O})) / 2 = 87$.

(2 балла)

Этому условию удовлетворяют только два элемента подгруппы фосфора – азот и мышьяк. Из текстового описания очевидно, что элемент **В – мышьяк (As)**. (1 балл)

- 3) **Реакция 1:** $\text{As}_2\text{O}_3 + 6\text{Zn} + 12\text{HCl} = 2\text{AsH}_3 + 6\text{ZnCl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ (2 балла)

Реакция 2: $2\text{AsH}_3 \rightarrow 2\text{As} + 3\text{H}_2$ (1 балл)

- 4) Поскольку минерал М имеет формулу C_2X_3 :

$$A_r(\text{C}) = (M_r(\text{C}_2\text{X}_3) - 3 \cdot A_r(\text{X})) / 2 \quad (1 \text{ балл})$$

Халькогены – элементы главной подгруппы VI группы.

Пусть X – кислород (O). Тогда:

$$A_r(\text{C}) = (340 - 3 \cdot 16) / 2 = 146 \text{ (примерно соответствует Pm; не удовлетворяет условию)}$$

Если X – сера (S), то:

$$A_r(\text{C}) = (340 - 3 \cdot 32) / 2 = 122 \text{ (соответствует Sb)}$$

Таким образом, элемент С – **сурьма (Sb)**, элемент X – **сера (S)**.

(2 балла)

Итого: 15 баллов

Примечание: Верным также следует считать решение, где элементы А, В и С определены сразу по описанию в тексте и лишь затем выполнены подтверждающие расчеты.

Задача 2

Этот оксид является сильным окислителем, представляет собой бесцветную маслянистую ядовитую жидкость. Определите элемент и составьте формулу этого оксида, если массовая доля кислорода равна 61%, а степень окисления элемента (+7).

(10 баллов)

РЕШЕНИЕ

1.	Вещество $X^{+7}_2O^{-2}_7$ $w(O)=61\%$ Найти X- ?	Правильно оформлено краткое условие задачи: 1 балл
2.	Обозначим неизвестный элемент X и составим формулу оксида: X_2O_7 , тогда: $Mr(X_2O_7) = 2Ar(X) + (16 \cdot 7)$	2 балла
3.	Определим массовую долю элемента в оксиде: $100\% - 61\% = 39\%$	2 балла
4.	Определим относительную атомную массу элемента: $112 \text{ масс.ч.} - 61\%$ $2Ar(X) \text{ масс.ч.} - 39\%$ $2Ar(X) = (112 \cdot 39) / 61 = 71;$ $Ar(X) = 71 / 2 = 35,5$	3 балла
5.	Такое значение атомной массы соответствует хлору. Формула оксида – Cl_2O_7	2 балла

Задача 3

Назовите металл со степенью окисления (+3), образующий нитрат с содержанием азота 12,174%. Определите формулу данного соединения.

(10 баллов)

Решение:

$$\omega(N) = \frac{3 \cdot M(N)}{M(Me) + 3 \cdot M(N) + 9 \cdot M(O)} = \frac{3 \cdot 14}{X + 3 \cdot 14 + 9 \cdot 16} = \frac{42}{X + 186} \quad (3 \text{ балла})$$

$$0,12174 = \frac{42}{X + 186}$$

$$0,12174 \cdot X + 22,64364 = 42$$

$$0,12174 \cdot X = 19,35636$$

$$X = 158,99 \quad (4 \text{ балла})$$

⇒ Me = Tb (1 балл)

⇒ Tb(NO₃)₃ (2 балла)

Задача 4

Вещество X белого цвета в виде двух навесок добавлено к кислотам – серной и соляной. Масса кислот по 40 г. Массовая доля растворов по 5%. Масса добавленного вещества X – по 5 г. Масса растворов после реакции в случае с серной кислоты – 43.2 г., в случае соляной кислоты – 42.8 г. Определить состав вещества. Написать соответствующие уравнения реакции.

(10 баллов)

1.	Дано: $m_{1(p-ра)}(H_2SO_4) = 40г$ $m_{2(p-ра)}(HCl) = 40г$ $w_1(H_2SO_4) = 5\%$ $w_2(HCl) = 5\%$ $X_1 = 5г$ $X_2 = 5г$ $m_{(p-ра)} \text{ после реакции} = 43.2г (H_2SO_4)$ $m_{(p-ра)} \text{ после реакции} = 42.8г (HCl)$ Найти X – ? Написать уравнения реакции.	Правильно оформлено краткое условие задачи: 1 балл
2.	Решение: $w = m_{в-ва} / m_{p-ра}$ I. $m_{1(в-ва)} = w \cdot m_{p-ра} = 0,05 \cdot 40 = 2г (H_2SO_4)$ $m_{2(в-ва)} = w \cdot m_{p-ра} = 0,05 \cdot 40 = 2г (HCl)$ II. $\nu(H_2SO_4) = m/M = 2/98 = 0,0204 \text{ моль}$ $\nu(HCl) = m/M = 2/36,5 = 0,0548 \text{ моль}$ III. $m_{p-ра} = 40 + 5 = 45г$ $\Delta m_1 = m_1 - m_2 = 45 - 43,2 = 1,8$ $\Delta m_2 = m_1 - m_2 = 45 - 42,8 = 2,2$	2 балла
3.	$\varepsilon(H_2SO_4) = 98/2 = 49г$ $\frac{m(H_2SO_4)}{\Delta m(H_2SO_4)} = \frac{M\varepsilon(H_2SO_4)}{My}$	2 балла

	$M_y = \frac{\Delta m \cdot M_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1,8 \cdot 49}{2} = 44,1 \text{ (CO}_2\text{)}$ $\nu(\text{CO}_2) = m/M = 1,8/44,1 = 0,0408 \text{ моль}$ $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) : \nu(\text{CO}_2) = 0,0204 : 0,0409 = 1:2$ $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MeCO}_3 \rightarrow \text{не подходит}$ $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{MeHCO}_3 \rightarrow \text{Me}_2\text{SO}_4 + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	
4.	$\text{э}(\text{HCl}) = 36,5$ $\frac{m(\text{HCl})}{\Delta m(\text{HCl})} = \frac{M_{\text{э}}(\text{HCl})}{M_y}$ $M_y = \frac{2,2 \cdot 36,5}{2} = 40,15$ $\nu(\text{CO}_2) = m/M = 2,2/44 = 0,05 \text{ моль}$ $\nu(\text{HCl}) : \nu(\text{CO}_2) = 0,05 : 0,05 = 1:1$ $\text{HCl} + \text{MeHCO}_3 \rightarrow \text{MeCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	2 балла
5.	$M(\text{MeHCO}_3) = m/M = 5\text{г}/0,05 = 100\text{г/моль}$ $M(\text{Me}) = X + 1 + 12 + 48 = 100$ $X = 100 - 61$ $X = 39$ <p>Масса соответствует К.</p> $\text{HCl} + \text{KHCO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KHCO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	3 балла