

Задачи на атомистику - новинка ЕГЭ-2020: разбираем химические задачи на соотношения (атомные, ионные, мольные)



Ильинова Ирина Ивановна,
учитель химии и географии

МБОУ «Лицей «Дубна»

г. Дубны Московской области,

адрес сайта ОУ: <http://licdubna.ucoz.ru>

адрес персональной странички на сайте лицея:

http://licdubna.ucoz.ru/index/ilinova_irina_ivanovna/0-86

e-mail: iljinova.ira@yandex.ru

Аннотация

В статье подобраны задачи на так называемую «атомистику», которые имели место быть на ЕГЭ-2020 по химии.

Статья адресована учителям химии и учащимся 8-11 классов.

Ключевые слова: атомы, ионы, массовая доля, раствор, массовое соотношение, смесь, количество вещества и др.

Содержание

Введение.

Основная часть.

Заключение.

Введение

Именно задачи на представленную тему в статье стали новинкой ЕГЭ по химии-2020 и вызвали сложности у участников экзамена.

Задачи на атомистику - это задачи на соотношения частиц (атомов, молекул, ионов и т.д.) в гомогенных и гетерогенных системах (растворах, твердых и газообразных смесях). Это могут быть массовые соотношения (массовая доля элемента в смеси), мольные соотношения (например, соотношение числа атомов водорода и кислорода или мольная доля), объемные соотношения (объемная доля и др.).

Приведем примеры задач от простых к сложным, с решением и для самостоятельного разбора с ответом для проверки.

Основная часть

1*.(66) В смеси оксида меди (I) и оксида меди (II) на 4 атома меди приходится 3 атома кислорода. Вычислите массовые доли веществ в такой смеси.

Решение:

Пусть n (количество вещества) $(\text{Cu}_2\text{O}) = x$ моль, $n(\text{CuO}) = y$ моль, тогда:

- ✓ количество вещества атомов меди в первом оксиде $n_1(\text{Cu}) = 2x$ моль, во втором оксиде: $n_2(\text{Cu}) = y$ моль,
- ✓ количество вещества атомов кислорода в первом оксиде $n_1(\text{O}) = x$ моль, во втором оксиде: $n_2(\text{O}) = y$ моль,
- ✓ общее количество вещества атомов меди: $n(\text{Cu}) = (2x + y)$ моль, атомов кислорода: $n(\text{O}) = (x + y)$ моль.

По условию задачи их отношение равно как 4:3, т. е. $(2x + y)/(x + y) = 4/3$.

Преобразуя приведённое выше равенство, получаем $y = 2x$.

Выразим через x массы соединений:

$$m(\text{Cu}_2\text{O}) = n(\text{Cu}_2\text{O}) \cdot M(\text{Cu}_2\text{O}) = (144x)\text{г};$$

$$m(\text{CuO}) = n(\text{CuO}) \cdot M(\text{CuO}) = 80 \cdot y = 80 \cdot 2x = (160x)\text{г}$$

Масса смеси двух оксидов будет равна:

$$m(\text{смеси}) = (144x + 160x)\text{г} = (304x)\text{г}$$

Теперь рассчитываем массовую долю оксидов в смеси:

$$\omega(\text{Cu}_2\text{O}) = m(\text{Cu}_2\text{O})/m(\text{смеси}) = 144x/304x = 0,4737 (47,37\%)$$

$$\omega(\text{CuO}) = m(\text{CuO})/m(\text{смеси}) = 160x/304x = 0,5263 (52,63\%)$$

Ответ: $\omega(\text{CuO}) = 52,6\%$, $\omega(\text{Cu}_2\text{O}) = 47,4\%$

2*.(70) В каком молярном соотношении были смешаны карбид кальция и карбонат кальция, если массовая доля углерода в полученной смеси равна 25%?

Решение:

Формулы карбида и карбоната кальция: CaC_2 и CaCO_3 .

Пусть $n(\text{CaC}_2) = x$ моль, $n(\text{CaCO}_3) = y$ моль, тогда:

- ✓ количество вещества атомов углерода в карбиде кальция $n_1(\text{C}) = 2x$ моль, в карбонате: $n_2(\text{C}) = y$ моль,
- ✓ общее количество вещества атомов углерода: $n(\text{C}) = (2x + y)$ моль.
- ✓ масса атомов углерода: $m(\text{C}) = 12(2x + y)$ г.

Выразим через x массы соединений:

$$m(\text{CaC}_2) = n(\text{CaC}_2) \cdot M(\text{CaC}_2) = (64x)\text{г};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 100y \text{ г}$$

Масса смеси двух веществ будет равна:

$$m(\text{смеси}) = (64x + 100y)\text{г}$$

Теперь записываем выражение для массовой доли атомов углерода в смеси:

$$\omega(\text{C}) = m(\text{C})/m(\text{смеси})$$

$$0,25 = 12(2x + y)/(64x + 100y)$$

Преобразуем выражение, выражаем x через y : $x = 1,625y$

Это и есть искомое молярное соотношение карбида кальция и карбоната кальция:

$$n(\text{CaC}_2)/n(\text{CaCO}_3) = x/y = 1,625$$

Ответ: $n(\text{CaC}_2)/n(\text{CaCO}_3) = 1,625$

3*.(67) В смеси двух хлоридов железа на 5 атомов железа приходится 13 атомов хлора. Вычислите массовые доли веществ в такой смеси.

Ответ: $\omega(\text{FeCl}_2) = 34,3\%$, $\omega(\text{FeCl}_3) = 65,7\%$.

4*.(71) В каком молярном соотношении были смешаны гидросульфит натрия и гидросульфид натрия, если массовая доля серы в полученной смеси равна 45%?

Ответ: $n(\text{NaHS})/n(\text{NaHSO}_3) = 2,18$.

5*.(74) В смеси нитрата аммония и нитрата бария массовая доля азота равна 30%. Вычислите массовую долю нитрат - ионов в смеси.

Ответ: 71,3%.

6*.(75) В смеси двух оксидов углерода на 5 атомов углерода приходится 7 атомов кислорода. Вычислите объемную долю более тяжелого оксида в этой смеси.

Ответ: $\varphi(\text{CO}_2) = 40\%$.

7*. (951) К смеси фосфата натрия, дигидрофосфата натрия и гидрофосфата натрия общей массой 15 г (молярное соотношение солей в порядке перечисления 3:2:1)

добавили 100 г 4%-го раствора гидроксида натрия. Установите количественный состав раствора (в массовых долях).

Ответ: $w(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 14,7\%$, $w(\text{NaOH}) = 34,3\%$.

*Задачи взяты из сборника С.А. Пузакова, В.А. Попкова «Пособие по химии. Вопросы. Упражнения. Задачи» (в скобках нумерация этих задач в сборнике).

8. Смесь оксида кальция и карбоната кальция с массовой долей атомов кальция 62,5% растворили в 300 г раствора соляной кислоты. При этом наблюдалось выделение газа, и масса полученного раствора составила 361,6 г. Выделившийся в результате реакции газ пропустили через 80 г 10%-ного раствора гидроксида натрия. Вычислите массовую долю соли в конечном растворе.

Решение:

Пусть $n(\text{CaO}) = x$ моль, $n(\text{CaCO}_3) = y$ моль, тогда:

✓ количество вещества атомов кальция в оксиде $n_1(\text{Ca}) = x$ моль, в карбонате: $n_2(\text{Ca}) = y$ моль,

✓ общее количество вещества атомов кальция: $n(\text{Ca}) = (x + y)$ моль.

Масса атомов кальция: $m(\text{Ca}) = n(\text{Ca}) \cdot M(\text{Ca}) = 40(x + y)$ г

Масса оксида кальция: $m(\text{CaO}) = n(\text{CaO}) \cdot M(\text{CaO}) = 56x$ г

Масса карбоната кальция: $m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 100y$ г

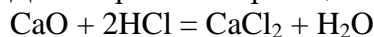
Масса смеси: $m_{\text{см}} = m(\text{CaO}) + m(\text{CaCO}_3) = (56x + 100y)$ г

Получаем выражение:

$$40(x + y)/(56x + 100y) = 0,625$$

Преобразуя приведённое выше равенство, получаем $x = 4,5y$.

Далее протекают реакции:



Количество образовавшегося углекислого газа $n(\text{CO}_2) = y$ моль, масса $m(\text{CO}_2) = 44y$ г.

Запишем уравнение материального баланса для конечного раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{CaO}) + m(\text{CaCO}_3) + m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) - m(\text{CO}_2)$$

$$361,6 = 56x + 100y + 300 - 44y$$

или

$$61,6 = 56x + 56y$$

Получаем систему:

$$\begin{cases} x + y = 1,1 \\ x = 4,5y \end{cases}$$

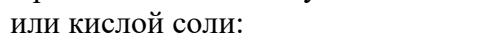
$$5,5y = 1,1$$

$$y = 0,2 \text{ моль, } x = 0,9 \text{ моль.}$$

Количество углекислого газа: $n(\text{CO}_2) = 0,2$ моль, масса $m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 0,2 = 8,8$ г.

При взаимодействии углекислого газа с гидроксидом натрия возможно образование средней или кислой соли:

При взаимодействии углекислого газа с гидроксидом натрия возможно образование средней или кислой соли:



Какие продукты образуются, определяется соотношением количества вещества реагентов.

Масса щелочи: $m(\text{NaOH}) = m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) \times \omega(\text{NaOH}) = 80 \cdot 0,1 = 8$ г

Количество вещества: $n(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH}) = 8/40 = 0,2$ моль

Соотношение количества вещества реагентов $n(\text{NaOH}): n(\text{CO}_2) = 0,2:0,2 = 1:1$

Следовательно, протекает только вторая реакция с образованием кислой соли — гидрокарбоната натрия.

$n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0,2$ моль

$m(\text{NaHCO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3) = 0,2 \cdot 84 = 16,8$ г

Масса конечного раствора гидрокарбоната:

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{CO}_2) + m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 8,8 + 80 = 88,8\text{ г}$$

Массовая доля гидрокарбоната натрия в конечном растворе:

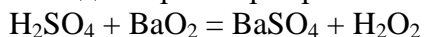
$$\omega(\text{NaHCO}_3) = m(\text{NaHCO}_3)/m_{\text{р-ра}} = 16,8/88,8 = 0,1892 \text{ или } 18,92\%$$

Ответ: $\omega(\text{NaHCO}_3) = 18,92\%$.

9. Дан холодный раствор серной кислоты. К нему добавили пероксид бария, при этом вещества прореагировали полностью. В полученном растворе соотношение атомов водорода к кислороду составило 9:5. Затем к этому раствору добавили каталитическое количество оксида марганца (IV), в результате масса раствора уменьшилась на 6,4 г. Вычислите массовую долю серной кислоты в исходном растворе.

Решение:

Холодный раствор серной кислоты реагирует с пероксидом бария без ОВР:



При этом в растворе присутствует пероксид водорода, а сульфат бария выпадает в осадок.

Пусть $n(\text{H}_2\text{O}_2) = x$ моль, $n(\text{H}_2\text{O}) = y$ моль, тогда:

- ✓ количество вещества атомов водорода в пероксиде $n_1(\text{H}) = 2x$ моль, в воде: $n_2(\text{H}) = 2y$ моль,

количество вещества атомов кислорода в пероксиде $n_1(\text{O}) = 2x$ моль, в воде: $n_2(\text{O}) = y$ моль,

- ✓ общее количество вещества атомов водорода: $n(\text{H}) = (2x + 2y)$ моль,

- ✓ общее количество вещества атомов кислорода: $n(\text{O}) = (2x + y)$ моль.

Получаем соотношение:

$$(2x + 2y)/(2x + y) = 9/5 \Rightarrow \text{упрощаем его: } y = 8x$$

При добавлении каталитического количества оксида марганца (IV) пероксид водорода разлагается: $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

Пусть весь пероксид водорода разложился, тогда изменение массы раствора равно массе выделившегося газа, то есть массе кислорода: $m(\text{O}_2) = 6,4 \text{ г}$

$$n(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2) = 6,4 / 32 = 0,2 \text{ моль}$$

$$\text{Отсюда } n(\text{H}_2\text{O}_2) = 2 \cdot n(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}$$

$$x = 0,4 \text{ моль} \quad y = 3,2 \text{ моль}$$

Отсюда количество вещества серной кислоты с исходном растворе:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,4 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4 \cdot 98 = 39,2 \text{ г}$$

Количество и масса воды не изменялись:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 3,2 \cdot 18 = 57,6 \text{ г}$$

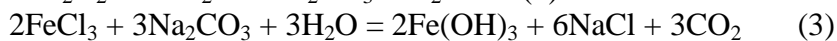
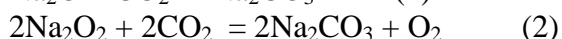
Массовая доля серной кислоты в исходном растворе:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4)/(m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{SO}_4)) = 39,2/(39,2 + 57,6) = 0,405 \text{ или } 40,5\%$$

Ответ: $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 40,5\%$.

10. Смесь оксида и пероксида натрия, в которой соотношение атомов натрия к атомам кислорода равно 3:2, нагрели с избытком углекислого газа. Полученное вещество растворили в воде. В результате образовалось 600г раствора. К полученному раствору добавили 229,6г раствора хлорида железа(III). Найдите массовую долю оксида натрия в исходной смеси, если масса конечного раствора 795г, а массовая доля карбоната натрия в растворе 4%.

Решение:



1) Рассчитаем количества веществ:

Пусть $n(\text{Na}_2\text{O}) = x$ моль, $n(\text{Na}_2\text{O}_2) = y$ моль

$$n(\text{Na})/n(\text{O}) = 3/2$$

$$n(\text{Na}) \text{ в } \text{Na}_2\text{O} = 2x \text{ моль, } n(\text{Na}) \text{ в } \text{Na}_2\text{O}_2 = 2y \text{ моль;}$$

$n(\text{O})$ в $\text{Na}_2\text{O} = x$ моль, $n(\text{O})$ в $\text{Na}_2\text{O}_2 = 2y$ моль;
 $(2x+2y)/(x+2y) = 3/2 \Leftrightarrow 4x+4y = 3x+6y \Leftrightarrow \underline{x=2y}$
 $m(\text{Fe}(\text{OH})_3) + m(\text{CO}_2) = 600+229,6-795 = 34,6$ г
 Пусть $n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = z$ моль, тогда $m(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 107z$ г
 $n(\text{CO}_2) = 3/2z$ моль, тогда $m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 3/2 \cdot z$ г

$$\left. \begin{array}{l} 107z + 66z = 34,6 \\ 173z = 34,6 \\ z = 0,2 \text{ моль} \end{array} \right\} n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,2 \text{ моль}$$

$n_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 3/2n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,2 \cdot 3/2 = 0,3$ моль
 $n_{\text{конеч.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \omega \cdot m_{\text{р-ра}} / M = 0,04 \cdot 795 / 106 = 0,3$ моль
 $n_{\text{общ.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,3 + 0,3 = 0,6$ моль
 $n_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{O}) = x$ моль
 $n_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{O}_2) = y$ моль

$$\left\{ \begin{array}{l} x+y = 0,6 \\ x = 2y \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} y = 0,2 \\ x = 0,4 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} n(\text{Na}_2\text{O}_2) = 0,2 \text{ моль} \\ n(\text{Na}_2\text{O}) = 0,4 \text{ моль} \end{array} \right.$$

2. Рассчитаем массы веществ и массовую долю оксида натрия в исходной смеси:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,4 \cdot 62 = 24,8 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2) = 0,2 \cdot 78 = 15,6 \text{ г}$$

$$m_{\text{смеси}} = 24,8 + 15,6 = 40,4 \text{ г}$$

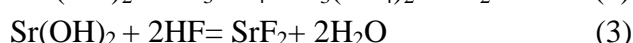
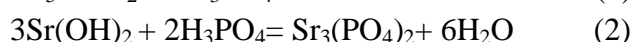
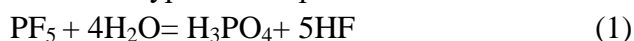
$$\omega(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{O}) / m_{\text{смеси}} = 24,8 / 40,4 = 0,6139 \text{ или } 61,39\%$$

Ответ: $\omega(\text{Na}_2\text{O}) = 24,8$ г.

11. Фторид фосфора(V) растворили в 2%-ном растворе ортофосфорной кислоты. В результате реакции образовался раствор, в котором массовая доля фтороводорода оказалась в 4,9 раза меньше массовой доли ортофосфорной кислоты. К полученному раствору добавили 2020 г раствора гидроксида стронция, взятого в избытке. При этом образовалось 29 г осадка. Вычислите массу конечного раствора.

Решение:

Записаны уравнения реакций:



1. Пусть было:

x моль PF_5 и в исходном растворе y моль H_3PO_4

$$n(\text{HF}) = 5n(\text{PF}_5) = 5x \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ полученной}_{(1)}) = n(\text{PF}_5) = x \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ в растворе после}_{(1)}) = x + y \text{ моль}$$

$$m(\text{HF}) = 5x \cdot 20 = 100x \text{ г}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ в растворе после}_{(1)}) = 98(x + y) \text{ г}$$

$$n(\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,5n(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ прореаг.}_{(2)}) = 0,5(x + y) \text{ моль}$$

$$m(\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,5(x + y) \cdot 454 = 227(x + y)$$

$$n(\text{SrF}_2) = 0,5n(\text{HF}_{\text{прореаг.}_{(3)}}) = 0,5 \cdot 5x \text{ моль}$$

$$m(\text{SrF}_2) = 0,5 \cdot 5x \cdot 126 = 315x \text{ г}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 98(x + y) = 4,9 \cdot 100x \\ 227(x + y) + 315x = 29 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 0,02 \text{ моль} \\ y = 0,08 \text{ моль} \end{array} \right.$$

$$m(\text{PF}_5) = 126 \cdot 0,02 = 2,52\text{г}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 98 \cdot 0,08 = 7,84\text{г}$$

$$m(\text{исходного раствора } \text{H}_3\text{PO}_4) = 7,84 / 0,02 = 392\text{г}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 2,52 + 392 + 2020 - 29 = 2385,52\text{г}$$

Ответ: $m(\text{конеч. раствора}) = 2385,52\text{г}$.

12. Смесь железной окалины и оксида железа(III), в которой отношение числа атомов железа к числу атомов кислорода 7:10, полностью растворили в 500г концентрированной азотной кислоты. Для поглощения полученного газа необходимо 20г 20%-ного раствора гидроксида натрия. Найдите массовую долю соли железа в растворе, полученном после растворения смеси оксидов в кислоте.

Ответ: $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 31\%$.

13. Смесь кальция и карбоната кальция, где содержание атомов кальция 50% обработали избытком раствора соляной кислоты массой 300г, после обработки соляной кислотой масса раствора стала 330г, один из выделившихся газов полностью поглотился 8% раствором гидроксида натрия массой 200г, найдите массовую долю соли в получившемся растворе.

Ответ: $\omega(\text{NaHCO}_3) = 15,4\%$.

14. В растворе хлоридов железа (II) и (III) количество ионов железа относится к числу ионов хлора как 3:8. Этот раствор массой 200 г прореагировал с избытком хлора. К полученному продукту добавили избыток раствора гидроксида натрия и в результате получили 526,5г 20% раствора соли. Определите массовую долю щелочи в добавленном растворе.

Ответ: $\omega(\text{NaOH}) = 18,8\%$.

15. Смесь из оксида лития и нитрида лития с массовой долей атомов лития 56%, смешали с 265г раствора соляной кислоты с массовой долей 20%. (все вещества полностью прореагировали). После к образовавшемуся раствору добавили 410г 20% фосфата натрия. Найдите массовую долю образовавшегося хлорида натрия.

Ответ: $\omega(\text{NaCl}) = 11,9\%$.

16. Смесь сульфата железа (II) и (III), отношение в которой атомов железа к сере равно 3/4, полностью прореагировала со 126,4г 5% подкисленного раствора перманганата калия. Определите массу 20% раствора NaOH, который может прореагировать с образовавшимся раствором.

Ответ: $m_p(\text{NaOH}) = 376\text{г}$.

17. При сливании растворов нитрата свинца с раствором гидросульфида калия образовался раствор, масса которого равна массе одного из исходных растворов, и в котором количества веществ ионов калия и нитрат-ионов относятся как 1:3, а массовая доля воды равна 80,23%. Определите массовые доли веществ в исходных и конечном растворах.

Ответ: в конечном р-ре $\omega(\text{KNO}_3) = 6,06\%$, $\omega(\text{HNO}_3) = 3,78\%$, $\omega(\text{HNO}_3) = 9,93\%$;
в исходных растворах $\omega(\text{KHS}) = 30,1\%$, $\omega(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 29,8\%$,

18. Аммиак объемом 20,16л (н.у.) поглотили водой. Полученный 25% раствор разлили в два сосуда. Число атомов азота в первом сосуде относится к числу атомов кислорода во втором сосуде как 12:17. В первый сосуд прилили 71,2г 22,5% раствора хлорида

алюминия. **Определите массовые доли веществ в итоговом растворе. Летучестью аммиака пренебречь.** Ответ: ω ост. $(\text{NH}_3) = 3,98\%$, $\omega (\text{NH}_4\text{Cl}) = 18,76\%$.

Заключение

Решение расчётных задач по химии подчиняется логике и проводится по определенным алгоритмам. И как вы уже поняли, прежде всего, нужно внимательно прочитать и проанализировать условие задачи, осознать ключевой (главный) вопрос в ней, написать необходимые уравнения химических реакций и на основе анализа условия определить причинно-следственные связи и составить план последовательности решения задачи.

Уровень сложности задач 34 в ЕГЭ по химии – высокий, поэтому, готовьтесь к ним фундаментально, профессионально, результативно, получая удовольствие от каждой правильно решенной задачи!