

Решения заданий 2-го этапа Всероссийской олимпиады школьников по химии 2018 – 19 учебный год

11 класс

Задача 11.1 (А.Я. Дупал, Е.П. Баберкина" Химия олимпиадные задания" РХТУ им. Менделеева, 2007 г)

При охлаждении 200 г насыщенного при 40⁰С раствора Na₃PO₄ (растворимость соли 23,3 г в 100г воды) до 25⁰С выпало 40,92 г кристаллогидрата, а концентрация Na₃PO₄ в растворе стала равной 12,66 мас.%. Установите формулу кристаллогидрата.

Решение

| Элемент решения | Баллы |
|---|-----------|
| При 40 ⁰ С 23,3 г Na ₃ PO ₄ содержится в (100+ 23,3) г раствора. | 1 |
| Тогда в 200г раствора при 40 ⁰ С содержится: | |
| $m \text{ Na}_3\text{PO}_4 = 23,3 \cdot 200 / 123,3 = 37,8 \text{ г}$ | 1 |
| $m \text{ H}_2\text{O} = 200 - 37,8 = 162,2 \text{ г}$ | |
| Найдем массу раствора после охлаждения до 25 ⁰ С: | 1 |
| $m \text{ р-ра}^{25\text{ }^\circ\text{C}} = 200 - 40,92 = 159,08 \text{ г}$ | 1 |
| Зная концентрацию полученного раствора можно найти массу соли и общую массу воды в охлажденном растворе: | |
| $m \text{ Na}_3\text{PO}_4 \text{ при } 25\text{ }^\circ\text{C} = 159,08 \cdot 0,1266 = 20,14 \text{ г}$ | 1 |
| $m \text{ H}_2\text{O} \text{ при } 25\text{ }^\circ\text{C} = 159,08 - 20,14 = 138,94 \text{ г}$ | 1 |
| Найдем теперь массу Na ₃ PO ₄ и массу H ₂ O в выпавшем кристаллогидрате: | |
| $m \text{ Na}_3\text{PO}_4 \text{ крист} = 37,8 - 20,14 = 17,66 \text{ г}$ | 1 |
| $m \text{ H}_2\text{O} \text{ крист} = 40,92 - 17,66 = 23,26 \text{ г}$ | |
| Следовательно, формула кристаллогидрата - Na ₃ PO ₄ * 12 H ₂ O. | 1 |
| Чтобы определить формулу кристаллогидрата надо найти отношение числа молей Na ₃ PO ₄ и H ₂ O в кристаллогидрате: | |
| $n \text{ Na}_3\text{PO}_4 \text{ крист} : n \text{ H}_2\text{O} \text{ крист} = 17,66 / 164 : 23,26 / 18 = 0,108 : 1,29 = 1 : 12$ | 2 |
| Всего | 10 |

Задача 11.2 (Дацук Е.А., Дацук Н.Г.)

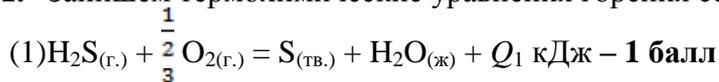
При сжигании сероводорода объемом 17,92 л (н.у.) в недостатке кислорода образовались сера и сернистый газ и выделилось 301,9 кДж тепла. Известно, что при неполном сгорании 1 моль сероводорода выделяется на 297 кДж тепла меньше, чем при полном сгорании.

1. Вычислите теплоту сгорания серы (в кДж/моль).
2. Вычислите теплоту полного и неполного сгорания сероводорода (в кДж/моль), если минимальный объем 0,5 М раствора гидроксида натрия, необходимый для поглощения сернистого газа, полученного в описанном эксперименте, равен 600 мл.
3. Определите, какое количество теплоты выделится при пропускании через склянку с дистиллированной водой 10,08 л сернистого газа и 13,44 л сероводорода (н.у.), если выход реакции составляет 80% от теоретического?

Примечание. При записи термохимических уравнений горения воду считать жидкой. Примите, что тепловые эффекты не зависят от температуры.

Решение:

1. Запишем термохимические уравнения горения сероводорода и серы:

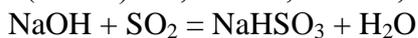


Очевидно, что уравнение (3) можно получить при вычитании из уравнения (2) уравнения (1). Тогда тепловой эффект реакции (3) составит $297 \text{ кДж} \Rightarrow Q_{сг.}(S) = 297 \text{ кДж/моль}$. – **1 балл**

2. Вычислим, какое количество сернистого газа образовалось при сжигании сероводорода

$$n(\text{H}_2\text{S}) = 17,92 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 0,8 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,6 \text{ л} \cdot 0,5 \text{ M} = 0,3 \text{ моль}$$

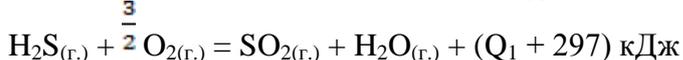


$$n(\text{SO}_2) = n(\text{NaOH}) = 0,3 \text{ моль}$$

$$0,5 \text{ моль} \qquad \qquad \qquad 0,5 \cdot Q_1 \text{ кДж}$$



$$0,3 \text{ моль} \qquad \qquad 0,3 \text{ моль} \qquad \qquad 0,3 \cdot (Q_1 + 297) \text{ кДж}$$



Составим уравнение:

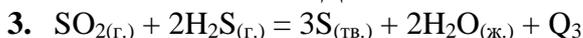
$$0,5 \cdot Q_1 + 0,3 \cdot (Q_1 + 297) = 301,9$$

$$0,8 \cdot Q_1 = 301,9 - 0,3 \cdot 297 = 212,8$$

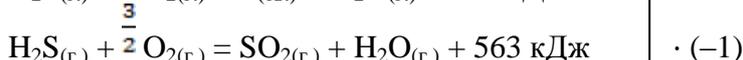
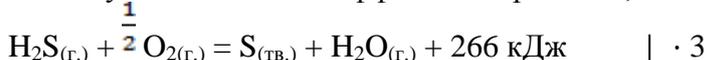
$$Q_1 = 266 \text{ кДж, тогда } Q_2 = Q_1 + 297 = 563 \text{ кДж}$$

Теплота полного сгорания сероводорода составляет 563 кДж/моль , – **2 балла**

теплота неполного – 266 кДж/моль . – **2 балла**



Чтобы узнать тепловой эффект этой реакции, можно воспользоваться имеющимися ТХУ:



$$Q_3 = 266 \cdot 3 - 563 = 235 \text{ кДж} - \mathbf{1 \text{ балл}}$$

$$n(\text{H}_2\text{S}) = 13,44 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 0,6 \text{ моль}$$

$$n(\text{SO}_2) = 10,08 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 0,45 \text{ моль}$$

$0,45 > 0,6 : 2 \Rightarrow$ сероводород в недостатке

$$Q_{\text{теор.}} = 0,6 \cdot Q_3 : 2 = 70,5 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{пр.}} = 0,8 \cdot Q_{\text{теор.}} = 56,4 \text{ кДж} \quad \left| \quad \mathbf{- 1 \text{ балл}} \right.$$

Система оценивания:

| Элемент решения | Баллы |
|---|------------------|
| Составление ТХУ горения серы и сероводорода | 3 |
| Определение теплового эффекта реакции (3) | 1 |
| Определение теплоты полного сгорания сероводорода | 2 |
| Определение теплоты неполного сгорания сероводорода | 2 |
| Определение Q_3 | 1 |
| Определение $Q_{\text{практ}}$ | 1 |
| Всего | 10 баллов |

Задача 11.3 (Дерябина Н.Е.)

Дана схема превращений



Напишите структурные формулы указанных веществ и уравнения соответствующих реакций. Назовите вещества. Укажите условия проведения реакций.

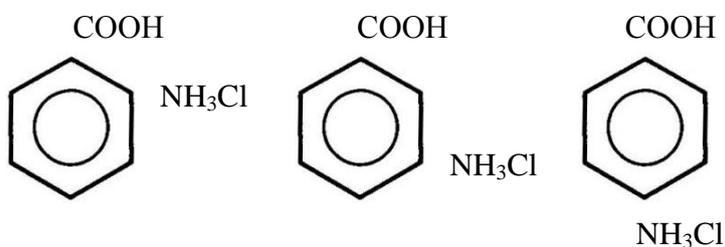
Решение:

$\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_4$ – нитробензойная кислота

$\text{C}_9\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_6$ – динитробензойная кислота

$\text{C}_9\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_6$ – этиловый эфир динитробензойной кислоты

$\text{C}_7\text{H}_8\text{ClNO}_2$ -



$\text{C}_7\text{H}_6\text{KNO}_2$ – калиевая соль аминобензойной кислоты



Оценивание

| Элемент решения | Баллы |
|---|-----------|
| За каждую структурную формулу по 0,5 балла | 2,5 |
| За название каждого вещества по 0,5 балла | 2,5 |
| За реакции нитрования, этерификации, нейтрализации по 1 баллу | 3 |
| За реакцию восстановления нитробензола | 2 |
| ИТОГО | 10 |

Задача 11.4 (Муниципальный этап ВОШХ, 2018-19 уч.год Ярославская область)

а. Элемент X, который образует соединения во многих степенях окисления, может быть получен в виде простого вещества при прокаливании в электрической печи кальциевой соли, содержащей этот элемент, с коксом и кварцевым песком. Образующиеся при этом пары элемента X конденсируются при пропускании их через воду, образуя реакционноспособную аллотропную модификацию.

б. Наиболее важное из соединений элемента X с водородом образуется при действии X на крепкие растворы щелочей. В этих реакциях данное простое вещество диспропорционирует с образованием соединений в степенях окисления -3 и $+1$. Полученное водородное соединение обладает характерным запахом.

в. Простое вещество X сгорает в хлоре, окисляясь до степени окисления $+3$, причем образующееся хлорпроизводное гидролизуется в присутствии следов влаги.

г. Полученное при хлорировании соединение может окисляться при нагревании в атмосфере хлора дальше.

д. Элемент X образует ряд кислородсодержащих кислот, в которых он обладает различными степенями окисления и степенями гидратации оксида X.

е. Ангидрид X_2O_5 образуется непосредственно при сгорании простого вещества X, однако ортокислоту получают не при реакции этого оксида с водой, а при взаимодействии кальциевой соли с серной кислотой.

ж. Существует ряд солей (например, натриевых), соответствующих замене одного, двух или трех атомов водорода в ортокислоте на металл. Их водные растворы при равной концентрации солей обладают различной кислотностью (с различными концентрациями в них ионов водорода).

з. Некоторые из соединений элемента X широко используются в сельском хозяйстве в качестве удобрений и промышленность производит их в большом количестве.

и. От названия элемента X происходит название одного из физико-химических явлений. Установите, о каком элементе идет речь. Объясните процессы, упомянутые в условиях задачи. Напишите формулы веществ и уравнения реакций, названных в задаче. При ответе на пункт (ж) охарактеризуйте кислотность растворов натриевых солей. В пункте (з) назовите формулы и способы получения некоторых из промышленно важных соединений X. В ответе на последний пункт поясните кратко, в чем заключается упомянутое физико-химическое явление.

Решение:

| Элементы решения | Баллы |
|---|------------|
| а. Фосфор получают прокаливанием фосфорита с песком и углем: $Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 = 3CaSiO_3 + 5CO + 2P$ Пары фосфора конденсируются, и расплавленный фосфор кристаллизуется с образованием кристаллической аллотропной α -модификации белого фосфора. | 1 |
| б. $P_4 + 3KOH + 3H_2O = PH_3 + 3KH_2PO_2$ | 1 |
| в. $P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3$, $PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$ PCl_3 «дымит» на воздухе, поскольку его пары гидролизуются парами воды с образованием тумана H_3PO_3 и HCl/H_2O . | 0,5 |
| г. $PCl_3 + Cl_2 = PCl_5$ $PCl_5 + H_2O = POCl_3 + 2HCl$ или $PCl_5 + 4H_2O = H_3PO_4 + 5HCl$ | 0,5 |
| д. Существует ряд кислородсодержащих кислот фосфора: H_3PO_2 — фосфорноватистая; H_3PO_4 — ортофосфорная; $H_4P_2O_7$ — дифосфорная (пирофосфорная); HPO_3 — метафосфорная; $H_4P_2O_6$ — фосфорноватая. За каждую формулу по 0,25 балла и за каждое название по 0,25 балла | 2,5 |
| е. $4P + 5O_2 = 2P_2O_5$ $Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 3CaSO_4 + 2H_3PO_4$ | 0,5 |
| ж. $NaH_2PO_4 \rightarrow Na_2HPO_4 \rightarrow Na_3PO_4$ слабокислая среда \rightarrow щелочная среда | 0,5 |
| з. В качестве удобрений используют простой и двойной суперфосфаты $Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 = 2CaSO_4 + Ca(H_2PO_4)_2$ простой суперфосфат | 0,5 |
| $Ca_3(PO_4)_2 + 4H_3PO_4 = 3Ca(H_2PO_4)_2$ двойной суперфосфат | 0,5 |

| | |
|---|------------|
| и. Фосфоресценция — явление самопроизвольного свечения вещества, возникающее после прекращения их освещения. Фосфоресценция обусловлена поглощением веществом возбуждающего излучения, она продолжается 'относительно долго после прекращения возбуждения. Следует подчеркнуть, что, хотя термин «фосфоресценция» напоминает название элемента, свечение белого фосфора собственно не является фосфоресценцией. Оно скорее представляет собой хемилюминесценцию — свечение, вызванное химической реакцией медленного окисления фосфора на воздухе в присутствии паров воды. | 0,5 |
| Всего | 10 |

Задача 11.5 (Муниципальный этап ВОШХ, 2018-19 уч.год Ярославская область)

Даны водные растворы хлорида железа (III), иодида калия, дихромата калия, серной кислоты и гидроксида калия, фенолфталеин. Приведите уравнения всех возможных реакций между этими веществами. Укажите признаки реакций.

Решение:

| | Уравнение | Признаки реакций | Баллы |
|---|--|---|---|
| 1 | $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (возможно образование кислой соли) | К раствору щелочи прилить 1-2 капли фенолфталеина. К полученному раствору малинового цвета по каплям добавлять кислоту. Малиновая окраска исчезает | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |
| 2 | $\text{FeCl}_3 + 3\text{KOH} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{KCl}$ | К раствору хлорида железа (3) желтого цвета прилить бесцветный раствор гидроксида калия. Образуется бурый (ржавый) осадок, раствор обесцвечивается. | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |
| 3 | $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ | К раствору хромата калия желтого цвета прилить раствор серной кислоты. Изменяется цвет раствора с желтого на оранжевый | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |
| 4 | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ | К раствору бихромата калия оранжевого цвета прилить раствор гидроксида калия. Изменяется цвет раствора с оранжевого на желтый | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |

| | | | |
|--------------|--|--|---|
| | $2\text{FeCl}_3 + 2\text{KI} = \text{I}_2 + 2\text{FeCl}_2 + 2\text{KCl}$ | К раствору хлорида железа (3) желтого цвета прилить бесцветный раствор иодида калия. Желтая окраска раствора исчезает. Образуется бурый осадок иода, раствор приобретает зеленоватый цвет. | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |
| 6 | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 6\text{KI} + 7\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{I}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$ | К раствору бихромата калия оранжевого цвета прилить раствор иодида калия. Оранжевая окраска раствора исчезает. Образуется бурый осадок иода, цвет раствора меняется на зеленый. | 1 балл за уравнение с коэффициентами. 1 балл за описание признаков реакций |
| Всего | | | 12 баллов |

Общее количество баллов – 52.

Допускаются другие варианты решения задач, не искажающие смысл.

При отправке детей на региональный этап олимпиады не забудьте про экспериментальный тур, где требуется защищающий одежду ХАЛАТ!

Региональный этап (теоретический тур) состоится по адресу: улица Каманина, д. 18/38, в центре для одаренных детей «Платформа 33»