

"Будущие исследователи - будущее науки" 2016-17
Финальный тур
10 класс

Задача 10-1

Образец ртути массой 40.12 мг растворили в эквивалентном количестве 0.10 М раствора азотной кислоты и к полученному раствору прилили водный раствор йодида калия до растворения первоначально выпавшего осадка. Затем прибавили избыток раствора нитрата серебра, в результате чего выпало 184.8 мг желтого осадка с массовой долей йода 54.94%. Образовавшийся осадок отделили от раствора фильтрованием и нагрели при температуре 45°C, что привело к образованию красного соединения с массовой долей серебра 23.35%.

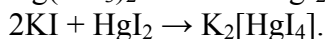
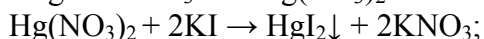
а) Напишите уравнения всех химических реакций, происходящих в этом эксперименте.

б) Ответ поясните и подтвердите необходимыми расчетами.

(Молярные массы элементов необходимо учитывать с точностью до десятых).

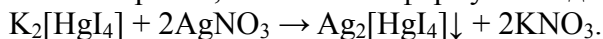
Решение

Разбавленная азотная кислота восстанавливается до NO:



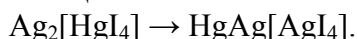
Количество ртути в образце $40.12 \text{ мг} / 200.6 \text{ г/моль} = 0.2 \text{ ммоль}$. Предполагая, что желтый осадок содержит 1 атом Hg на формульную единицу, молярная масса этого осадка равна $184.8 \text{ мг} / 0.2 \text{ моль} = 924 \text{ г/моль}$. Учитывая, что массовая доля йода составляет 54.95%, формульная единица осадка содержит $924 \cdot 0.5494 / 126.9 = 4$ атома йода и $[924 - 200.6 - 4 \cdot 126.9] / 107.9 = 2$ атома серебра.

Таким образом, химическая формула осадка $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$.



Массовая доля серебра в $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$ составляет $2 \cdot 107.9 / 924 = 0.2335$ (23.35%).

Поскольку образец был нагрет при низкой температуре, его состав остался прежним. Изменение цвета можно объяснить следующей перестройкой:



желтый красный

Задача 10-2

Раствор некоторой одноосновной органической кислоты с массовой долей 0.50% имеет плотность 1.00 г/см^3 . Эксперимент показал, что 1.00 л этого раствора содержит $6.75 \cdot 10^{21}$ ионов и степень диссоциации кислоты составляет 10.6%.

а) Установите природу одноосновной кислоты. Ответ подтвердите расчетами.

б) Рассчитайте константу диссоциации кислоты и pH раствора.

в) Предложите способ синтеза кислоты из легкодоступных реагентов. Напишите уравнение реакции.

Решение

а) Слабая одноосновная кислота диссоциирует в соответствии с уравнением реакции:



1 л раствора содержит $1000 \text{ см}^3 \cdot 1.00 \text{ г/см}^3 \cdot 0.005 = 5 \text{ г}$ одноосновной кислоты HA. Общее число ионов в растворе $6.75 \cdot 10^{21} / 6.02 \cdot 10^{23} = 0.01121$ моль. Эти ионы образовались при диссоциации $0.01121 / 2 = 0.005605$ моль кислоты. 1 л раствора содержит $0.005605 / 0.106 = 0.0529$ моль недиссоциированной кислоты.

Молярная масса кислоты $5 \text{ г} / 0.0529 \text{ моль} = 94.5 \text{ г/моль}$.

Тот факт, что молярная масса составляет половину целого числа свидетельствует о том, что молекула кислоты содержит нечетное число атомов Cl. Под данное условие

подходит хлоруксусная кислота ClCH_2COOH .

б) В состоянии равновесия концентрации равны:

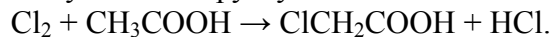
$$[\text{H}^+] = 0.005605 \text{ моль}; [\text{A}^-] = 0.005605 \text{ моль}; [\text{HA}] = 0.0529 - 0.005605 = 0.0473 \text{ моль}.$$

Константа равновесия равна:

$$K_a = (0.005605)^2 / 0.0473 = 6.64 \cdot 10^{-4}.$$

$$\text{pH} = -\lg(0.00561) = 2.25.$$

в) Получение хлоруксусной кислоты:

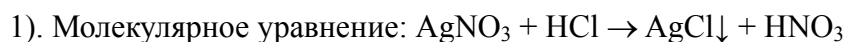


Задача 10-3

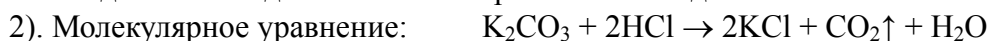
В различных пробирках находятся водные растворы солей: нитрата серебра, карбоната калия, сульфита калия, тиосульфата натрия, тетрагидроксоалюмината натрия. Неизвестно, какая соль находится в каждой конкретной пробирке. С помощью какого одного универсального реактива можно обнаружить каждую из перечисленных солей? В ответе напишите: 1) формулы универсального реактива и солей, 2) молекулярные и сокращенные ионные уравнения реакций, 3) признаки реакций.

Решение

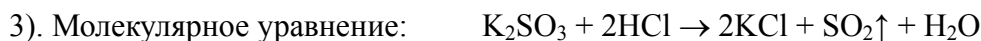
Универсальным реактивом может быть раствор соляной кислоты HCl . Формулы солей: нитрат серебра AgNO_3 , карбонат калия K_2CO_3 , сульфит калия K_2SO_3 , тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, тетрагидроксоалюминат натрия $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$.



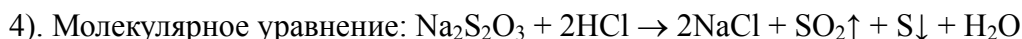
Наблюдение: выпадение белого творожистого осадка



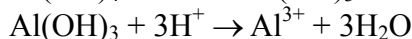
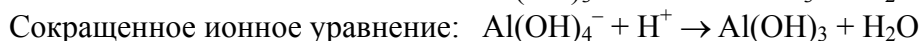
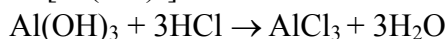
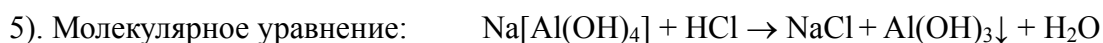
Наблюдение: выделение бесцветного газа без запаха



Наблюдение: выделение бесцветного газа с характерным резким запахом горячей серы



Сокращенное ионное уравнение: $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{SO}_2 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ Наблюдение: выделение бесцветного газа с характерным резким запахом горячей серы и помутнение раствора

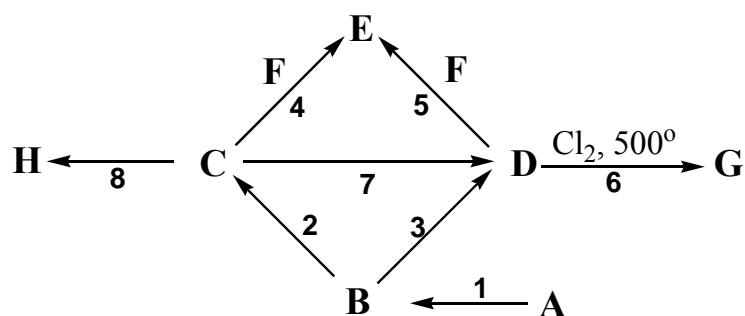


Наблюдение: выпадение белого осадка, затем растворение его в избытке HCl

Другими универсальными реактивами могут быть азотная, фосфорная, уксусная кислоты, при этом визуальные эффекты будут отличаться.

Задача 10-4

Напишите уравнения и условия реакций, соответствующих указанной схеме превращений. Приведите структурные формулы всех зашифрованных органических веществ и назовите их. Соединения **A** и **B** являются предельными углеводородами с плотностью при н.у. 1.92 ± 0.05 г/л. Вещество **D** — олефин, **E** — кумол. Реакция 8 — реакция Вюрца.



Решение

Плотность газообразных веществ **A** и **B** лежит в пределах от 1.87 до 1.97 г/л, следовательно молярные массы находятся в пределах от $1.87 \cdot 22.4 = 41.89$ до $1.97 \cdot 22.4 = 44.13$ г/моль.

Следовательно, вещество **A** – циклопропан с молярной массой 42 г/моль, **B** – пропан, 44 г/моль.

Вещество **C**: $(\text{CH}_3)_2\text{CHBr}$ 2-бромпропан. Допускается также $(\text{CH}_3)_2\text{CHCl}$.

Олефин **D** - $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ пропен.

Вещество **F**: C_6H_6 бензол.

Кумол **E** - $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$.

Вещество **G** - $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$, 3-хлорпропен-1 или аллилхлорид.

Вещество **H** - $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ 2,3-диметилбутан.

Уравнения реакций:

- | | |
|--|--|
| 1). $\text{цикло-}\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ | (Pd кат., t) |
| 2). $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHBr} + \text{HBr}$ | (облучение светом) |
| 3). $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{H}_2$ | (Pd кат., t) |
| 4). $(\text{CH}_3)_2\text{CHBr} + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5 + \text{HBr}$ | (AlCl_3 кат., t) |
| 5). $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ | (H_2SO_4 конц. или AlCl_3 , t) |
| 6). $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$ | (500°) |
| 7). $(\text{CH}_3)_2\text{CHBr} + \text{NaOH}_{\text{сп.}} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ | (t) |
| 8). $2(\text{CH}_3)_2\text{CHBr} + 2\text{Na} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}(\text{CH}_3)_2 + 2\text{NaBr}$ | |