

X.1	X.2	X.3	X.4	Всего	% от общего
1	3	2	4	10	

Из 200 г раствора фталевой кислоты ($C_6H_4(COOH)_2$) с массовой долей 0.260% выпарили всю воду. Полученную фталевую кислоту прокалили при $200^\circ C$. При этой температуре происходит реакция декарбоксилирования с образованием бензойной кислоты:



Масса полученного твердого остатка, в котором были только фталевая и бензойная кислоты, составила 462 мг.

1. Рассчитайте концентрацию фталевой кислоты в исходном растворе (моль/л). Плотность раствора равна 1.00 г/мл.

В 1 л раствора массой 1000 г $0.26 \cdot 0.01 \cdot 1000 = 2.6$ г $C_6H_4(COOH)_2$.

$$M(C_6H_4(COOH)_2) = 166.14 \text{ г/моль}$$

$$n = 2.6 : 166.14 = 0.0156 \text{ моль}$$

$$c = 0.0156 \text{ моль/л}$$

1 балл

2. Рассчитайте pH этого же раствора, считая, что эта кислота диссоциирует только по первой ступени: $K_{a1} = 10^{-2.95}$.

Если $[H^+] = [HA^-] = x$, то $[H_2A] = 0.0156 - x$, где H_2A – фталевая кислота. Получим уравнение:

$$K_{a1} = \frac{x^2}{0.0156 - x} = 10^{-2.95},$$

решение которого $x = 3.66 \cdot 10^{-3}$.

$$pH = -\lg x = 2.44.$$

Составленное уравнение без приближений – 1 балл, верный корень – 1 балл, pH – 1 балл

3. Определите выход реакции разложения фталевой кислоты.

Масса фталевой кислоты до разложения равна $200 \cdot 0.26 \cdot 10^{-2} = 0.520$ г. После разложения масса уменьшилась на $0.520 - 0.462 = 0.058$ г – это масса углекислого газа.

$$n(CO_2) = 0.058 : 44 = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = n(C_6H_5COOH)$$

$$n_{\text{теор}}(C_6H_5COOH) = n_0(C_6H_4(COOH)_2) = 0.52 : 166.14 = 3.13 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Выход равен $1.32/3.13 = 42.2\%$.

Расчет количества CO_2 – 1 балл, выход – 1 балл

4. Рассчитайте константу кислотности бензойной кислоты, если рН раствора, полученного растворением твердого остатка после разложения в воде и доведения объема до 1.00 л, равен 2.99. Константа кислотности фталевой кислоты по второй ступени равна $K_{a2} = 10^{-5.41}$.

$$[H^+] = 10^{-2.99} = 1.023 \cdot 10^{-3} \text{ М},$$

$$c(H_2A) = (3.13 - 1.32) \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1.81 \cdot 10^{-3} \text{ М},$$

$$c(HB) = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ М}.$$

Используя выражения для мольных долей форм двухосновной кислоты, найдем концентрации всех форм H_2A .

$$[HA^-] = \frac{K_1[H^+]}{K_1K_2 + K_1[H^+] + [H^+]^2} c(H_2A) = 9.449 \cdot 10^{-4} \text{ М}$$

$$[A^{2-}] = \frac{K_1K_2}{K_1K_2 + K_1[H^+] + [H^+]^2} c(H_2A) = 3.59 \cdot 10^{-6} \text{ М}$$

Учтем электронейтральность и выразим мольную долю B^- .

$$[B^-] + 2[A^{2-}] + [HA^-] = [H^+]$$

$$[B^-] = 7.09 \cdot 10^{-5} \text{ М}$$

$$\frac{[B^-]}{c(HB)} = 0.0537 = \frac{K}{K + [H^+]} = \frac{K}{K + 1.023 \cdot 10^{-3}}$$

Получаем $K = 5.8 \cdot 10^{-5}$.

Использование верных выражений для мольной доли анионов двухосновной кислоты – 1 балл, верная запись электронейтральности – 1 балл, ответ – 2 балла.

X.1	X.2	X.3	X.4	X.5	X.6	Всего	% от общего
1	3	2	3	2	4	15	

Из 200 г раствора фталевой кислоты ($C_6H_4(COOH)_2$) с массовой долей 0.260% выпарили всю воду. Полученную фталевую кислоту прокалили при $200^\circ C$. При этой температуре происходит реакция декарбоксилирования с образованием бензойной кислоты:



Масса полученного твердого остатка, в котором были только фталевая и бензойная кислоты, составила 462 мг.

1. Рассчитайте концентрацию фталевой кислоты в исходном растворе (моль/л). Плотность раствора равна 1.00 г/мл.

В 1 л раствора массой 1000 г $0.26 \cdot 0.01 \cdot 1000 = 2.6$ г $C_6H_4(COOH)_2$.

$$M(C_6H_4(COOH)_2) = 166.14 \text{ г/моль}$$

$$n = 2.6 : 166.14 = 0.0156 \text{ моль}$$

$$c = 0.0156 \text{ моль/л}$$

1 балл

2. Рассчитайте pH этого же раствора, считая, что эта кислота диссоциирует только по первой ступени: $K_{a1} = 10^{-2.95}$.

Если $[H^+] = [HA^-] = x$, то $[H_2A] = 0.0156 - x$, где H_2A – фталевая кислота. Получим уравнение:

$$K_{a1} = \frac{x^2}{0.0156 - x} = 10^{-2.95},$$

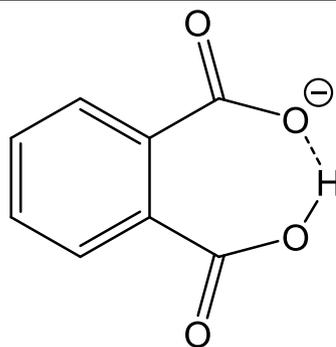
решение которого $x = 3.66 \cdot 10^{-3}$.

$$pH = -\lg x = 2.44.$$

Составленное уравнение без приближений – 1 балл, верный корень – 1 балл, pH – 1 балл

3. Фталевая кислота – орто-изомер бензолдикарбоновой кислоты. По второй ступени она значительно слабее, чем по первой, что можно объяснить стабилизацией аниона $C_6H_4(COOH)(COO^-)$ в орто-изомере. Нарисуйте структуру этого аниона и покажите на ней, за счет чего происходит стабилизация. Какой тип связей ей способствует?

Стабилизации способствует водородная связь:



1 балл тип связи, 1 балл структура

4. Определите выход реакции разложения фталевой кислоты.

Масса фталевой кислоты до разложения равна $200 \cdot 0,26 \cdot 10^{-2} = 0,520$ г. После разложения масса уменьшилась на $0,520 - 0,462 = 0,058$ г – это масса углекислого газа.

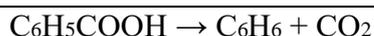
$$n(\text{CO}_2) = 0,058 : 44 = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})$$

$$n_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = n_0(\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2) = 0,52 : 166,14 = 3,13 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Выход равен $1,32/3,13 = 42,2\%$.

Расчет количества CO_2 – 1 балл, выход – 1 балл

5. При нагревании выше 400°C вся твердая навеска превращается в смесь двух бинарных газообразных при этой температуре веществ. Напишите уравнение реакции, в которую вступает бензойная кислота при этом.



2 балла

6. Рассчитайте константу кислотности бензойной кислоты, если pH раствора, полученного растворением твердого остатка после разложения в воде и доведения объема до 1,00 л, равен 2,99. Константа кислотности фталевой кислоты по второй ступени равна $K_{a2} = 10^{-5,41}$.

$$[\text{H}^+] = 10^{-2,99} = 1,023 \cdot 10^{-3} \text{ М,}$$

$$c(\text{H}_2\text{A}) = (3,13 - 1,32) \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1,81 \cdot 10^{-3} \text{ М,}$$

$$c(\text{HB}^-) = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ М.}$$

Используя выражения для мольных долей форм двухосновной кислоты, найдем концентрации всех форм H_2A .

$$[\text{HA}^-] = \frac{K_1[\text{H}^+]}{K_1K_2 + K_1[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2} c(\text{H}_2\text{A}) = 9,449 \cdot 10^{-4} \text{ М}$$

$$[\text{A}^{2-}] = \frac{K_1K_2}{K_1K_2 + K_1[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2} c(\text{H}_2\text{A}) = 3,59 \cdot 10^{-6} \text{ М}$$

Учтем электронейтральность и выразим мольную долю B^- .

$$[\text{B}^-] + 2[\text{A}_2^-] + [\text{HA}^-] = [\text{H}^+]$$

$$[\text{B}^-] = 7,09 \cdot 10^{-5} \text{ М}$$

$$\frac{[\text{B}^-]}{c(\text{HB})} = 0.0537 = \frac{K}{K + [\text{H}^+]} = \frac{K}{K + 1.023 \cdot 10^{-3}}$$

Получаем $K = 5.8 \cdot 10^{-5}$.

Использование верных выражений для мольной доли анионов двухосновной кислоты – 1 балл, верная запись электронейтральности – 1 балл, ответ – 2 балла.

X.1	X.2	X.3	X.4	X.5	X.6	X.7	Всего	% от общего
1	3	2	3	2	4	4	19	

Из 200 г раствора фталевой кислоты ($C_6H_4(COOH)_2$) с массовой долей 0.260% выпарили всю воду. Полученную фталевую кислоту прокалили при $200^\circ C$. При этой температуре происходит реакция декарбоксилирования с образованием бензойной кислоты:



Масса полученного твердого остатка, в котором были только фталевая и бензойная кислоты, составила 462 мг.

1. Рассчитайте концентрацию фталевой кислоты в исходном растворе (моль/л). Плотность раствора равна 1.00 г/мл.

В 1 л раствора массой 1000 г $0.26 \cdot 0.01 \cdot 1000 = 2.6$ г $C_6H_4(COOH)_2$.

$$M(C_6H_4(COOH)_2) = 166.14 \text{ г/моль}$$

$$n = 2.6 : 166.14 = 0.0156 \text{ моль}$$

$$c = 0.0156 \text{ моль/л}$$

1 балл

2. Рассчитайте pH этого же раствора, считая, что эта кислота диссоциирует только по первой ступени: $K_{a1} = 10^{-2.95}$.

Если $[H^+] = [HA^-] = x$, то $[H_2A] = 0.0156 - x$, где H_2A – фталевая кислота. Получим уравнение:

$$K_{a1} = \frac{x^2}{0.0156 - x} = 10^{-2.95},$$

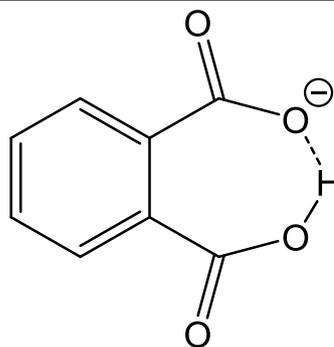
решение которого $x = 3.66 \cdot 10^{-3}$.

$$pH = -\lg x = 2.44.$$

Составленное уравнение без приближений – 1 балл, верный корень – 1 балл, pH – 1 балл

3. Фталевая кислота – орто-изомер бензолдикарбоновой кислоты. По второй ступени она значительно слабее, чем по первой, что можно объяснить стабилизацией аниона $C_6H_4(COOH)(COO^-)$ в орто-изомере. Нарисуйте структуру этого аниона и покажите на ней, за счет чего происходит стабилизация. Какой тип связей ей способствует?

Стабилизации способствует водородная связь:



1 балл тип связи, 1 балл структура

4. Определите выход реакции разложения фталевой кислоты.

Масса фталевой кислоты до разложения равна $200 \cdot 0.26 \cdot 10^{-2} = 0.520$ г. После разложения масса уменьшилась на $0.520 - 0.462 = 0.058$ г – это масса углекислого газа.

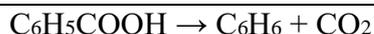
$$n(\text{CO}_2) = 0.058 : 44 = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})$$

$$n_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = n_0(\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2) = 0.52 : 166.14 = 3.13 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Выход равен $1.32/3.13 = 42.2\%$.

Расчет количества CO_2 – 1 балл, выход – 1 балл

5. При нагревании выше 400°C вся твердая навеска превращается в смесь двух бинарных газообразных при этой температуре веществ. Напишите уравнение реакции, в которую вступает бензойная кислота при этом.



2 балла

6. Рассчитайте константу кислотности бензойной кислоты, если рН раствора, полученного растворением твердого остатка после разложения в воде и доведения объема до 1.00 л, равен 2.99. Константа кислотности фталевой кислоты по второй ступени равна $K_{a2} = 10^{-5.41}$.

$$[\text{H}^+] = 10^{-2.99} = 1.023 \cdot 10^{-3} \text{ М,}$$

$$c(\text{H}_2\text{A}) = (3.13 - 1.32) \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1.81 \cdot 10^{-3} \text{ М,}$$

$$c(\text{HB}) = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 1 \text{ л} = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ М.}$$

Используя выражения для мольных долей форм двухосновной кислоты, найдем концентрации всех форм H_2A .

$$[\text{HA}^-] = \frac{K_1[\text{H}^+]}{K_1K_2 + K_1[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2} c(\text{H}_2\text{A}) = 9.449 \cdot 10^{-4} \text{ М}$$

$$[\text{A}^{2-}] = \frac{K_1K_2}{K_1K_2 + K_1[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2} c(\text{H}_2\text{A}) = 3.59 \cdot 10^{-6} \text{ М}$$

Учтем электронейтральность и выразим мольную долю B^- .

$$[\text{B}^-] + 2[\text{A}^{2-}] + [\text{HA}^-] = [\text{H}^+]$$

$$[\text{B}^-] = 7.09 \cdot 10^{-5} \text{ М}$$

$$\frac{[\text{B}^-]}{c(\text{HB})} = 0.0537 = \frac{K}{K + [\text{H}^+]} = \frac{K}{K + 1.023 \cdot 10^{-3}}$$

Получаем $K = 5.8 \cdot 10^{-5}$.

Использование верных выражений для мольной доли анионов двухосновной кислоты – 1 балл, верная запись электронной нейтральности – 1 балл, ответ – 2 балла.

Фталевую кислоту и ее соли можно использовать для приготовления буферных растворов. Диапазон pH, в котором удовлетворительны буферные свойства растворов, соответствует содержанию депротонированной формы буферной системы от 10 до 90% (от общей концентрации протонированной и депротонированной форм).

7. Определите два диапазона pH, в которых можно использовать фталевую кислоту, гидрофталат- и фталат- ионы для создания буферных растворов.

Содержание депротонированной формы от 10 до 90% соответствует соотношениям депротонированной формы к протонированной от 9 до 1/9. Используем это.

$$K_{a1} = \frac{[\text{HA}^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{A}]}$$

$$K_{a1} = [\text{H}^+]_{\text{min1}} \cdot 9 \Rightarrow [\text{H}^+]_{\text{min1}} = \frac{K_{a1}}{9} = 1.25 \cdot 10^{-4} \text{ M}, \text{ pH}_{\text{max1}} = 3.90$$

$$K_{a1} = [\text{H}^+]_{\text{max1}} \cdot \frac{1}{9} \Rightarrow [\text{H}^+]_{\text{max1}} = 9K_{a1} = 1.01 \cdot 10^{-2} \text{ M}, \text{ pH}_{\text{min1}} = 2.00$$

Аналогично для диссоциации по второй ступени.

$$K_{a2} = \frac{[\text{A}^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{HA}^-]}$$

$$K_{a2} = [\text{H}^+]_{\text{min2}} \cdot 9 \Rightarrow [\text{H}^+]_{\text{min2}} = \frac{K_{a2}}{9} = 4.32 \cdot 10^{-7} \text{ M}, \text{ pH}_{\text{max2}} = 6.36$$

$$K_{a2} = [\text{H}^+]_{\text{max2}} \cdot \frac{1}{9} \Rightarrow [\text{H}^+]_{\text{max2}} = 9K_{a2} = 3.50 \cdot 10^{-5} \text{ M}, \text{ pH}_{\text{min2}} = 4.46$$

В итоге получили два диапазона: от 2.00 до 3.90 и от 4.46 до 6.36.

4 границы по 1 баллу