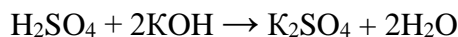


РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ»

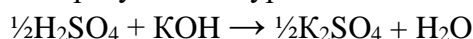
Задача 1. Чему равна молярная масса эквивалента серной кислоты при титровании раствором KOH?

Решение.

При титровании H_2SO_4 раствором KOH протекает реакция



Разделим левую и правую части уравнения на 2



Становится очевидным, что $f_3(H_2SO_4) = 1/2$. Тогда молярная масса эквивалента серной кислоты равна

$$M(^{1/2}H_2SO_4) = \frac{1}{2}M(H_2SO_4) = \frac{1}{2} \cdot 98,07 = 49,035 \text{ г/моль}$$

Ответ: 49,035 г/моль.

Задача 2. Навеску $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ массой 0,6000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование аликвоты 20,00 мл полученного раствора израсходовано 18,34 мл NaOH. Определить молярную концентрацию раствора NaOH, его титр и условный титр этого раствора по $H_2C_2O_4$.

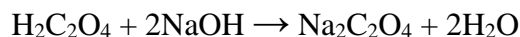
Решение.

В соответствии с принципом эквивалентности число молей эквивалента титранта равно числу молей эквивалента определяемого вещества

$$n(NaOH) = n(^{1/2}H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O),$$

где $n(NaOH)$ – число молей эквивалента щелочи, затраченное на титрование аликвоты раствора щавелевой кислоты.

Запишем уравнение реакции, протекающей при титровании



Каждая молекула щавелевой кислоты содержит 2 иона водорода, поэтому $f_3(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) = 1/2$. Из условия задачи следует, что

$$n(^{1/2} H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) = \frac{m(^{1/2} H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)}{M(^{1/2} H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)} \cdot \frac{V_a}{V_k},$$

где V_k – объем мерной колбы, в которой растворена навеска щавелевой кислоты; V_a – объем аликвоты полученного раствора, отобранного пипеткой на титрование.

Если обозначить молярную концентрацию раствора гидроксида натрия $C(NaOH)$, то количество вещества эквивалента NaOH можно выразить как

$$n(NaOH) = \frac{C(NaOH)V(NaOH)}{1000}$$

Объединяя полученные выражения, получаем

$$C(NaOH) = \frac{m(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) \cdot 1000 \cdot V_a}{M(^{1/2}H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O)V(NaOH)V_k}$$

$$C(NaOH) = \frac{0,6000 \cdot 1000 \cdot 20,00}{63,033 \cdot 18,43 \cdot 100} = 0,1038 \text{ моль/л}$$

Титр $T(NaOH)$ и титр по щавелевой кислоте $T(NaOH/H_2C_2O_4)$ в г/мл можно рассчитать по формулам

$$T(NaOH) = \frac{C(NaOH)M(NaOH)}{1000};$$

$$T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{T(\text{NaOH}) \cdot M(^{1/2}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(\text{NaOH})}$$

где $M(\text{NaOH})$ и $M(^{1/2}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ – молярные массы эквивалента NaOH и щавелевой кислоты соответственно.

$$T(\text{NaOH}) = \frac{0,1038 \cdot 39,997}{1000} = 0,004152 \text{ г/мл};$$

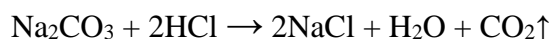
$$T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{0,004152 \cdot 45,017}{39,997} = 0,004673 \text{ г/мл}$$

Ответ: 0,1038 моль/л; 0,004152 г/мл; 0,004673 г/мл.

Задача 3. На реакцию смеси, состоящей из карбонатов натрия и калия, массой 0,4000 г израсходовали 22,00 мл 0,3000 М раствора HCl. Вычислить массовую долю (%) карбоната натрия и карбоната калия в смеси.

Решение.

Согласно уравнению



одному молю ионов водорода соответствует условная частица $\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3$, следовательно $f_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1}{2}$.

В точке эквивалентности

$$n(^{1/2}\text{Na}_2\text{CO}_3) + n(^{1/2}\text{K}_2\text{CO}_3) = n(\text{HCl}),$$

где $n(\text{HCl}) = \frac{C(\text{HCl})V(\text{HCl})}{1000}$ – число молей HCl в растворе, пошедшем на титрование.

Если через ω обозначить массовую долю (%) Na_2CO_3 в смеси, то число молей эквивалентов K_2CO_3 и Na_2CO_3 , содержащееся в навеске, равно:

$$n(^{1/2}\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m\omega}{M(^{1/2}\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100}$$

$$n(^{1/2}\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(100 - \omega)}{M(^{1/2}\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot 100}$$

Сочетание этих соотношений дает

$$\frac{m\omega}{M(^{1/2}\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100} + \frac{m(100 - \omega)}{M(^{1/2}\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot 100} = \frac{C(\text{HCl})V(\text{HCl})}{1000}$$

Подставляя числовые значения, получим

$$\frac{0,4000 \cdot \omega}{52,9942 \cdot 100} + \frac{0,4000 \cdot (100 - \omega)}{69,103 \cdot 100} = \frac{0,3000 \cdot 22,00}{1000}$$

откуда $\omega = 46,12\%$ Na_2CO_3 ; $100 - 46,12 = 53,88\%$ K_2CO_3 .

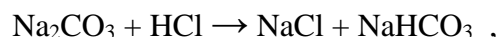
Ответ: 46,12%; 53,88%.

Задача 4. На титрование с фенолфталеином навески массой 0,4478 г, состоящей из Na_2CO_3 , NaHCO_3 и NaCl , потребовалось 18,80 мл 0,1998 М раствора HCl. При

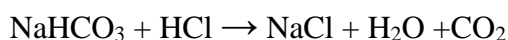
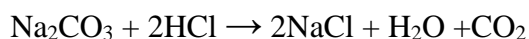
титровании с метиловым оранжевым на ту же массу израсходовали 40,00 мл раствора кислоты. Вычислить массовую долю (%) Na_2CO_3 и NaHCO_3 в смеси.

Решение.

При титровании смеси с фенолфталеином протекает реакция



а в присутствии метилового оранжевого



Следовательно, при титровании смеси в присутствии фенолфталеина с раствором соляной кислоты взаимодействует только Na_2CO_3 , и его массовую долю в анализируемой смеси легко определить по формуле

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{C(\text{HCl})V(\text{HCl})^{\text{ф-ф}} M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{1000 \cdot m_{\text{ан}}} \cdot 100\%$$

При подстановке численных значений получим

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,1998 \cdot 18,80 \cdot 105,989}{1000 \cdot 0,4478} \cdot 100 = 88,91\%$$

Из приведенных реакций следует, что объем раствора HCl , затраченный на титрование гидрокарбоната натрия, составляет $V(\text{HCl})^{\text{м.о.}} - 2V(\text{HCl})^{\text{ф-ф}}$.

Следовательно,

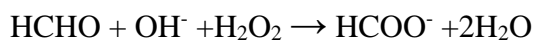
$$\omega(\text{NaHCO}_3) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot (V(\text{HCl})^{\text{м.о.}} - 2V(\text{HCl})^{\text{ф-ф}}) \cdot M(\text{NaHCO}_3)}{1000 \cdot m_{\text{ан}}} \cdot 100\%$$

Подставляя численные значения, получим

$$\omega(\text{NaHCO}_3) = \frac{0,1998 \cdot (40,0 - 2 \cdot 18,80) \cdot 84,007}{1000 \cdot 0,4478} \cdot 100 = 9,00\%$$

Ответ: 88,91%; 9,00%.

Задача 5. Для определения содержания формальдегида в [пестициде](#) навеску препарата массой 3,017 г обработали 50,00 мл 1,0 М раствора NaOH ($K=0,9022$) в присутствии пероксида водорода. При нагревании произошла реакция



После охлаждения избыток щелочи оттитровали 20,12 мл раствора HCl с $T(\text{HCl})=0,03798$. Вычислить массовую долю (%) формальдегида в препарате пестицида.

Решение.

В соответствии с принципом, лежащим в основе [обратного титрования](#), количество молей эквивалента определяемого вещества равно разности между количеством молей эквивалента вещества в [основном](#) и [вспомогательном](#) рабочих растворах

$$n(\text{HCHO}) = n(\text{NaOH}) - n(\text{HCl})$$

Согласно условию задачи, выражаем число молей реагирующих веществ

$$n(\text{HCHO}) = \frac{m \omega_x}{M(\text{HCHO}) \cdot 100\%};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{C(\text{NaOH}) \cdot K \cdot V(\text{NaOH})}{1000} ;$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{T(\text{HCl})V(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$$

Составим расчетное уравнение

$$\frac{m \omega_x}{M(\text{HCHO}) \cdot 100\%} = \frac{C(\text{NaOH}) \cdot K \cdot V(\text{NaOH})}{1000} - \frac{T(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$\frac{3,017 \cdot \omega_x}{30,026 \cdot 100\%} = \frac{1,0 \cdot 0,9022 \cdot 50,00}{1000} - \frac{0,03798 \cdot 20,12}{36,467}$$

откуда $\omega_x = 20,86\%$.

Ответ: 20,86%.