



Межрегиональная олимпиада школьников
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

Вариант 1.

10 класс

Задача 10-1

Титриметрия – это классический метод анализа, широко используемый в химии. В этом методе к известному объему анализируемого раствора небольшими порциями приливают раствор реагента известной концентрации, то есть титруют. Процесс титрования заканчивают в тот момент, когда количество прилитого реагента становится эквивалентным количеству определяемого вещества. Этот момент фиксируют с помощью специально подобранного индикатора.

Кристаллогидрат сульфата железа массой 2.78 г полностью растворили в небольшом объеме раствора серной кислоты и добавили дистиллированной воды до 250 мл. На титрование 10 мл полученного раствора потребовалось 16 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0.005 моль/л. Установите химическую формулу растворенного вещества. Ответ подтвердите расчетами. Запишите уравнение химической реакции, протекающей при титровании, учитывая, что титрование протекает в сильноокислой среде и момент окончания титрования фиксируют по появлению бледно розового окрашивания.

Решение

Поскольку полученный раствор сульфата железа титруется перманганатом калия, то это свидетельствует о том, что растворенное вещество содержит железо (II) и его химическую формулу можно в общем виде записать $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

При титровании протекает следующая реакция:



На титрование потребовалось $0.005 \text{ моль/л} \cdot 0.016 \text{ л} = 0.00008 \text{ моль}$ KMnO_4 . Из уравнения реакции видно, что с этим количеством прореагировало $0.00008 \cdot 5 = 0.0004 \text{ моль}$ сульфата железа (II).

Такое количество сульфата железа (II) содержится в 10 мл раствора, а в 250 мл раствора содержится $0.0004 \text{ моль} \cdot 25 = 0.01 \text{ моль}$.

Масса этого сульфата составляет $0.01 \text{ моль} \cdot 152 \text{ г/моль} = 1.52 \text{ г}$. Остальная масса приходится на воду, то есть $2.78 - 1.52 = 1.26 \text{ г}$.

Следовательно, $1.26 / 18 = 0.07 \text{ моль}$ H_2O приходится на 0.01 моль FeSO_4 и кристаллогидрат имеет формулу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Разбалловка

За расчеты	10 б
За уравнение реакции	5 б
За установление формулы	10 б

Итого 25 баллов

Задача 10-2

Массовая доля SO_3 (свободного и в составе серной кислоты) в олеуме составляет 90%.

Рассчитайте массовую долю (в %) свободного оксида серы (VI) в этом олеуме.

Вычислите объем 20% раствора гидроксида калия с плотностью 1.173 г/мл, необходимого на нейтрализацию 200 г олеума.

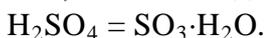
Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Допустим, что масса олеума равна 100 г, тогда

$$m(\text{SO}_3)_{\text{общая}} = 100 \text{ г} \cdot 0.9 = 90 \text{ г}; m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 90 = 10 \text{ г}.$$

$n(\text{H}_2\text{O}) = 10/18 = 0.5556$ моль; $n(\text{SO}_3)_{\text{общее}} = 90/80 = 1.1250$ моль. Свободной H_2O в олеуме нет, она вся входит в состав серной кислоты

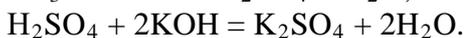
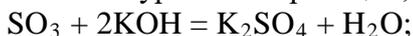


$$n(\text{SO}_3)_{\text{общее}} = n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} + n(\text{SO}_3)_{\text{в серной кислоте}};$$

$$1.1250 = n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} + 0.5556;$$

$$n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} = 0.5694 \text{ моль или } 0.5694 \cdot 80 = 45.55 \text{ г или } 45.55\%.$$

Запишем уравнения реакций, протекающих при нейтрализации олеума:



На взаимодействие с SO_3 , содержащемся в 200 г олеума, потребуется $2 \cdot 0.5694 = 2.2776$ моль щелочи, на нейтрализацию $\text{H}_2\text{SO}_4 - 2 \cdot 0.5556 = 2.2224$ моль щелочи. Всего необходимо 4.5 моль щелочи или 252 г KOH или $252/0.2 = 1260$ г раствора. Объем этого раствора равен $1260/1.173 = 1074$ мл.

Разбалловка

За расчет массовой доли оксида серы	10 б
За уравнения реакций	5 б
За расчет объема раствора	10 б

Итого 25 баллов

Задача 10-3

В результате длительного нагревания 1 моль гексанола-1 и 0.01 моль концентрированной серной кислоты в 300 мл инертного растворителя диоксана-1,4 ($\rho = 1.033$ г/мл) при температуре кипения последнего 100°C в колбе с обратным холодильником установилось равновесие. Массовая доля алкена составила 1.02%. Запишите уравнение реакции, которая является эндотермической. Назовите продукт. Вычислите степень превращения спирта в алкен. Как она изменится:

- при снижении температуры смеси до 80°C ;
- при добавлении к равновесной реакционной смеси еще 0.001 моль концентрированной серной кислоты;
- при добавлении 20 г концентрированной серной кислоты;
- при добавлении 200 мл диоксана-1,4;
- при добавлении 10 мл 1-молярного водного раствора едкого натра;
- при добавлении 10 мл 1-молярного водного раствора карбоната натрия.

Решение



Определим массу смеси: $m = 102 + 0.98 + 309.9 = 412.88$ г.

Определим количество алкена: $n = 412.88 \cdot 0.0102 / 84 = 0.05$. Степень превращения спирта (выход реакции дегидратации) $\eta = 5\%$.

а). При снижении температуры смеси в эндотермической реакции η снизится в соответствии с принципом Ле Шателье.

б). При увеличении концентрации катализатора возрастут скорости прямой и обратной реакции, но η не изменится.

в). Большое количество концентрированной H_2SO_4 (20 г) сыграет роль водоотнимающего средства, эффективная конц. $[\text{H}_2\text{O}]$ снизится, и η повысится.

г). При добавлении растворителя снизятся концентрации спирта, алкена и воды. Обратная реакция 2 порядка $V_2 = k_2[\text{C}_6\text{H}_{12}]\cdot[\text{H}_2\text{O}]$ замедлится в большей мере, чем прямая реакция первого порядка $V_1 = k_1[\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}]$. В результате η повысится.

д). Добавление 10 мл 1М NaOH означает введение 0.01 моль NaOH и около 10 мл воды. Введение 0.01 моль NaOH и 10 мл воды нейтрализует только половину серной кислоты, η не должен измениться с этой точки зрения. Но введение воды сместит равновесие влево, и η снизится.

е). Добавление 10 мл 1М Na_2CO_3 означает введение 0.01 моль Na_2CO_3 и около 10 мл воды. 0.01 моль Na_2CO_3 сразу приведет к полной нейтрализации имеющейся 0.01 моль серной кислоты. В отсутствие катализатора прямая и обратная реакции затормозятся, η не должен измениться с этой точки зрения. Но введение воды сместит равновесие влево, и α снизится.

Разбалловка

За уравнение	3 б
За определение степени превращения спирта	4 б
За ответы на вопросы а-е по 3б	18 б

Итого 25 баллов

Задача 10-4

Для изготовления солонины 10 кг сырого мяса засыпали 1 кг поваренной соли, длительно выдерживали в герметичной емкости при 5°C, затем отделили остатки твердой соли (100 г) и образовавшийся рассол (соленая вода, 8 кг). В полученной солонине массовое соотношение соли и воды составило 1:12, а в слитом рассоле 1:9. Какова масса воды в полученных рассоле и солонине? Какова масса соли в солонине? Какова масса сухого вещества в свежем мясе? Какова масса солонины? Каково содержание соли в г на 100 г сухого вещества солонины? Почему в процессе засолки мясо теряет воду? Почему мясо без соли не хранится?

Решение

Зная массу рассола 8 кг и массовое соотношение соли и воды в нем 1:9, можно вычислить массу соли в рассоле 800 г и массу воды в рассоле 7200 г. Масса соли в солонине составляет $1000 - 800 - 100 = 100$ г, а масса воды в солонине в 12 раз больше и равна 1200 г. Общая масса воды составляет $7200 + 1200 = 8400$ г. Масса сухого вещества в свежем мясе равна: $10000 - 8400 = 1600$ г. Масса солонины равна $11000 - 8000 - 100 = 2900$ г. Масса сухого вещества в солонине равна $2900 - 1200 = 1700$ г. Содержание соли в сухом веществе солонины равно $100/1700 = 0.0588$ (5.88 г на 100 г сухого вещества).

Если внутриклеточный раствор с низкой концентрацией соли отделен полупроницаемой клеточной мембраной от более концентрированного раствора (рассол), то вода начнет просачиваться из клетки в рассол сквозь мембрану вследствие явления осмоса. Соль является консервантом и не дает развиваться бактериям.

Разбалловка

За расчет массы воды в рассоле 7200 г	3 б
За расчет массы соли в солонине 100 г	3 б
За расчет массы воды в солонине 1200 г	3 б
За расчет массы сухого вещества в свежем мясе 1600 г	3 б
За расчет массы солонины 2900 г	3 б
За расчет сод. соли 5.88 г на 100 г сух. в-ва солонины	4 б
За знание явления осмоса	3 б
За знание консервирующего действия соли	3 б

Итого 25 баллов



Межрегиональная олимпиада школьников
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

Вариант 2.

10 класс

Задача 10-1

Сера представляет собой светло-жёлтое порошкообразное вещество. Она растворяется в некоторых малополярных жидкостях и кипит при температуре 444°C.

Какие степени окисления может проявлять серы в соединениях? Приведите пример соединения для каждой степени окисления.

Запишите электронную конфигурацию атома серы в основном состоянии.

Вычислите число атомов серы в одной молекуле, если осмотическое давление раствора 0.512 г серы в 50 см³ дисульфида углерода составляет 97.44 кПа при 20°C. (Для справки: осмотическое давление (кПа) $\pi = CRT$, где C – молярная концентрация растворенного вещества, $R = 8.314$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹, T – температура, К).

Сколько атомов содержит молекула серы при 500°C, если при давлении 25.7 кПа плотность ее пара составляет 0.512 г/дм³?

Решение

Степени окисления серы в его соединениях:

+ 6 (H₂SO₄), + 4 (SO₂), 0 (S₈), -2 (H₂S).

Промежуточные степени окисления:

+2 (SCl₂), +1 (S₂Cl₂), -2/n (H₂S_n), +3 (Na₂S₂O₄), +5 (K₂S₂O₆).

Электронная конфигурация серы в основном состоянии:

1s²2s²2p⁶3s²3p⁴.

Рассчитаем молярную массу серы, зная осмотическое давление раствора:

$C = \pi / (RT) = 97.44 \text{ кПа} / (8.314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1} \cdot 293 \text{ К}) = 0.04 \text{ моль/л.}$

Найдем количество вещества серы в 50 мл раствора:

$n = 0.04 \text{ моль/л} \cdot 0.05 \text{ л} = 0.002 \text{ моль.}$

Теперь вычислим молярную массу:

$M = m/n = 0.512 \text{ г} / 0.002 \text{ моль} = 256 \text{ г/моль.}$

Число атомов серы в одной молекуле равно $256/32 = 8$.

Найдем молярную массу серы из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$PV = nRT; PV = (m/M)RT.$

Отсюда

$M = mRT / (PV) = \rho RT / P = 0.512 \cdot 10^3 \text{ г/м}^3 \cdot 8.314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1} \cdot 773 \text{ К} / 25.7 \cdot 10^3 \text{ Па} = 128 \text{ г/моль}$

Число атомов серы в одной молекуле равно $128/32 = 4$.

Разбалловка

За указание основной степени окисления и пример соединения по 1 б	4 б
За написание электронной конфигурации атома серы	1 б
За расчет числа атомов серы в молекуле при 20°C	10 б
За расчет числа атомов серы в молекуле при 500°C	10 б

Итого 25 баллов

Задача 10-2

В химии для характеристики кислотности раствора принято использовать показатель кислотности рН, который может принимать значения от 0 до 14. Если рН=7, то среда нейтральная, если рН<7, то среда кислотная, если рН>7, то щелочная. Значение показателя кислотности можно рассчитать по формуле $\text{pH} = -\lg C(\text{H}^+)$, где $C(\text{H}^+)$ – молярная концентрация ионов водорода в растворе.

112 л хлороводорода растворили в 1 л воды.

1. Рассчитайте массовую долю растворенного вещества.

2. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

3. Каково будет значение рН раствора, если к 10 мл полученного раствора добавить 440 мл воды.

В расчетах учтите, что полученный раствор имеет плотность 1.075 г/см^3 , а объем растворенного хлороводорода измерен при нормальных условиях. Изменением объема жидкой фазы при растворении можно пренебречь.

Решение

1. Найдем количество и массу растворенного хлороводорода:
 $n(\text{HCl}) = 112 \text{ л} / 22.4 \text{ л/моль} = 5 \text{ моль}$; $m(\text{HCl}) = 5 \text{ моль} \cdot 36.5 \text{ г/моль} = 182.5 \text{ г}$. Масса полученного раствора складывается из массы хлороводорода и воды:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{HCl}) + V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 182.5 \text{ г} + 1000 \text{ г} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1182.5 \text{ г}.$$

Массовая доля хлороводорода в полученном растворе равна: $\omega(\text{HCl}) = 182.5 / 1182.5 = 0.154$ или 15,4%.

2. Зная плотность, найдем объем полученного раствора и вычислим его молярную концентрацию:

$$V = m / \rho = 1182.5 \text{ г} / 1.075 \text{ г/мл} = 1100 \text{ мл} = 1.1 \text{ л};$$

$$C(\text{HCl}) = n / V = 5 \text{ моль} / 1.1 \text{ л} = 4.5 \text{ моль/л}.$$

3. Найдем количество HCl в 10 мл раствора:

$$n(\text{HCl}) = 4.5 \text{ моль/л} \cdot 0.01 \text{ л} = 0.045 \text{ моль}.$$

Теперь вычислим молярную концентрацию полученного раствора:

$$C(\text{HCl}) = 0.045 \text{ моль} / 0.450 \text{ л} = 0.1 \text{ моль/л}.$$

Поскольку HCl является сильной кислотой, то $C(\text{H}^+) = C(\text{HCl}) = 0.1 \text{ моль/л}$.

$$\text{pH} = -\lg C(\text{H}^+) = -\lg 0.1 = 1.$$

Разбалловка

За вычисление массовой доли раствора	8 б
За вычисление молярной концентрации	8 б
За вычисление молярной концентрации раствора после нейтрализации	4 б
За вычисление рН	5 б

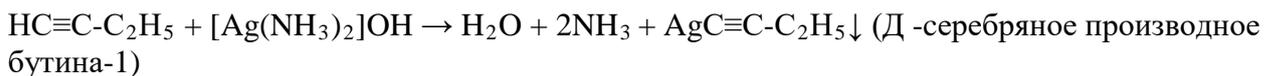
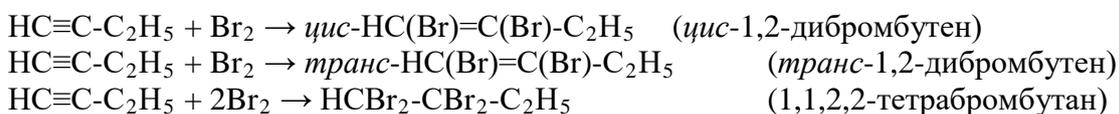
Итого 25 баллов

Задача 10-3

Углеводород А может реагировать с бромом легко при комнатной температуре в темноте с образованием трех органических бромидов Б, В, Г. Массовая доля углерода в Б равна 22.43%. Массовая доля водорода в его изомере В равна 2.80%. Массовая доля брома в Г равна 85.56%. Углеводород А реагирует с аммиачным раствором оксида серебра с образованием органического вещества Д, а также может присоединять воду в присутствии солей ртути. Определите структурные формулы и назовите А - Д, напишите уравнения упомянутых реакций.

Решение

Исходя из приведенных свойств вещества А можно сделать вывод, что это терминальный алкин с $\text{HC}\equiv$ концевой тройной связью). Продукт Г – тетрабромпроизводное $\text{HCBr}_2\text{-CBr}_2\text{-R}$. По известному содержанию брома найдем его $M = 374$ г/моль. Тогда для вещества А молярная масса равна $374 - 320 = 54$ г/моль. Это – бутин-1. Содержание углерода в Б и водорода в В подтверждает, что они являются изомерами дибромбутена.



Разбалловка

За структурные формулы и названия А-Д по 2б.	10 б
За 5 уравнений по 3б	15 б

Итого 25 баллов

Задача 10-4

Вычислите количество теплоты, выделяющееся в реакции 67.2 л водорода с 44.8 л кислорода при н.у., если выход составил 95%. Известно, что ΔH° реакции разложения воды (жидкой) на простые вещества равна +286 кДж/моль. Запишите термохимические уравнения указанных реакций, то есть с указанием агрегатных состояний веществ и тепловых эффектов.

Решение

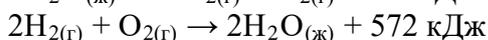
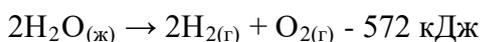
Найдем количества веществ водорода и кислорода: $n(\text{H}_2) = 67.2/22.4 = 3$ моль.

$n(\text{O}_2) = 44.8/22.4 = 2$ моль. Водород в недостатке.

$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.95 n(\text{H}_2) = 2.85$ моль.

Найдем количество выделившейся в реакции теплоты:

$Q = 286 \cdot 2.85 = 815.1$ кДж.



Разбалловка

За расчет $n(\text{H}_2)$, $n(\text{O}_2)$ по 3 б	6
б	
За вывод, что водород в недостатке	3 б
За расчет $n(\text{H}_2\text{O})$	3 б
За расчет $Q = 815.1$ кДж	5 б
За 2 термохимических уравнения по 4 б.	8 б

Итого 25 баллов