

Олимпиада школьников «Ломоносов». 2024/25 учебный год.

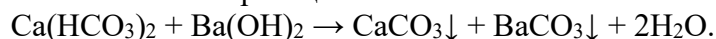
Решения заданий заключительного этапа по химии

10 класс

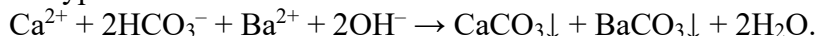
Вариант 1

1. Запишите уравнение реакции обмена, для которой полное ионное и сокращенное ионное уравнения совпадают. Приведите полное ионное уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Уравнение возможной реакции:



Полное ионное уравнение:



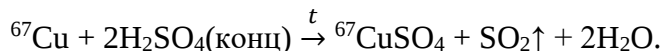
Сокращенное ионное уравнение имеет такой же вид.

По 3 балла за уравнение реакции и полное ионное уравнение, всего 6 баллов

2. Изотоп медь-67 используется в медицине при лечении и диагностике онкологических заболеваний. ^{67}Cu распадается с испусканием β -частиц, период полураспада равен 61.8 часа. 1 г ^{67}Cu прореагировал при нагревании с избытком концентрированной серной кислоты. Каков период полураспада меди в образовавшемся соединении? Свой ответ обоснуйте. Запишите уравнение реакции взаимодействия ^{67}Cu с кислотой, а также уравнение распада. (8 баллов)

Решение. Период полураспада $\tau_{1/2}$ связан с постоянной распада λ следующим соотношением: $\tau_{1/2} = \ln 2 / \lambda$. Постоянная распада λ не зависит ни от температуры, ни от давления, ни от химического окружения, ни от каких-либо других внешних факторов. Следовательно, то же самое справедливо и для $\tau_{1/2}$. Тогда в образовавшемся соединении период полураспада изотопа меди $\tau_{1/2} = 61.8$ ч.

Взаимодействие в кислотой:



Уравнение распада: $^{67}_{29}\text{Cu} \rightarrow ^{67}_{30}\text{Zn} + ^0_{-1}e.$

4 балла за постоянство периода полураспада (с аргументацией), 2 балла за химическую реакцию, 2 балла за уравнение распада. Всего 4 + 2 + 2 = 8 баллов.

3. На чашах весов размещены два одинаковых сосуда с газами. В первом сосуде при атмосферном давлении находится аргон, в другом сосуде – газ А при 144.7 кПа. Весы находятся в равновесии, температура газов одинаковая. Предложите формулу газа А, если известно, что он горит голубым пламенем. (10 баллов)

Решение. Если сосуды одинаковые, у них одинаковая собственная масса и объем. Массы газов тоже совпадают, поскольку весы – в равновесии. Из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$m = \frac{pVM}{RT}.$$

Запишем условие равенства масс двух газов:

$$\frac{p_1VM_1}{RT} = \frac{p_2VM_2}{RT};$$

$$p_1M_1 = p_2M_2;$$

$$101.3 \cdot 40 = 144.7 \cdot M(\text{A})$$

$$M(\text{A}) = \frac{101.3 \cdot 40}{144.7} = 28 \text{ (г/моль)}.$$

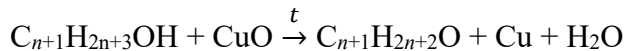
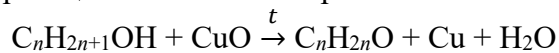
Молярную массу 28 г/моль имеют несколько газов – CO , N_2 , C_2H_4 . Из них голубым пламенем горит угарный газ CO .

Ответ: CO .

7 баллов за расчет массы газа, 3 балла за формулу газа. Всего 10 баллов.

4. Смесь паров предельного одноатомного спирта и его ближайшего гомолога (оба – с неразветвленным углеродным скелетом), пропустили при нагревании над раскалённым оксидом меди(II), при этом образовалось 25.6 г меди. Определите строение исходных спиртов и их массовые доли в исходной смеси, если массовая доля углерода в ней составляла 63.27%. Напишите уравнения протекающих реакций. Атомную массу меди примите равной 64 г/моль. **(16 баллов)**

Решение. Уравнения реакций окисления спиртов:



Пусть более лёгкого спирта было x моль, а более тяжёлого – y моль, тогда общее количество полученной меди составляет

$$\nu(Cu) = 25.6 / 64 = 0.4 \text{ моль,}$$

$$x + y = 0.4.$$

Массовая доля углерода в смеси спиртов:

$$0.6327 = (12nx + (12n + 12)y) / ((14n + 18)x + (14n + 32)y).$$

Упрощая выражение, получаем

$$5nx - 18x = 13y - 5ny$$

или

$$x(5n - 18) = y(13 - 5n).$$

Ясно, что x и y – положительные числа, а n должно быть целым положительным числом. Единственное значение n , удовлетворяющее этим условиям, это 3.

Или, подставляя $y = 0.4 - x$, можно составить неравенство

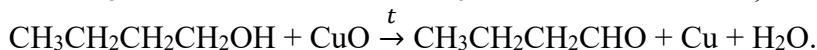
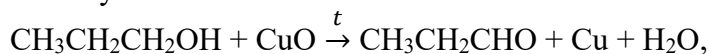
$$x(5n - 18) = (0.4 - x)(13 - 5n),$$

$$0 < x < 0.4,$$

откуда

$$2.6 < n < 3.6,$$

в данном интервале единственное целое значение n равно 3. Следовательно, исходная смесь состояла из пропанола-1 и бутанола-1:



Массовые доли спиртов в исходной смеси можно найти при помощи системы уравнений

$$\begin{cases} x + y = 0.4 \\ 0.6327 = (36x + 48y) / (60x + 74y) \end{cases}$$

откуда $x = 0.15$ и $y = 0.25$. Массовые доли спиртов:

$$\omega(\text{пропанола-1}) = 0.15 \cdot 60 / (0.15 \cdot 60 + 0.25 \cdot 74) = 0.327 \text{ (или 32.7\%)},$$

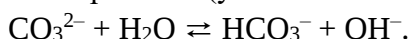
$$\omega(\text{бутанола-1}) = 0.25 \cdot 74 / (0.15 \cdot 60 + 0.25 \cdot 74) = 0.673 \text{ (или 67.3\%)}. \quad \text{или } 67.3\%$$

Ответ: 32.7% пропанола-1, 67.3% бутанола-1.

Уравнения реакции с CuO – 4 балла, определение n и спиртов – 6 баллов, расчет массовых долей спиртов – 6 баллов. Всего 4 + 6 + 6 = 16 баллов.

5. 50.00 г кристаллогидрата карбоната натрия растворили в воде. Объем раствора довели до 1.000 л, значение pH составило 11.82. Определите формулу кристаллогидрата, если константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени $K_{\text{дисс}}(HCO_3^-) = 4.8 \cdot 10^{-11}$. **(16 баллов)**

В растворе происходит гидролиз карбоната (учитываем только первую ступень):



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[HCO_3^-] \cdot [OH^-]}{[CO_3^{2-}]} = \frac{[OH^-]^2}{c - [OH^-]},$$

где c – исходная концентрация карбонат-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[OH^-]$ – определим из значения pH:

$$K = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}(\text{HCO}_3^-)} = \frac{10^{-14}}{4.8 \cdot 10^{-11}} = 2.08 \cdot 10^{-4},$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-2.18} = 6.607 \cdot 10^{-3} \text{ М}.$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию карбоната в растворе:

$$c = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 0.216 \text{ М}.$$

С учетом того, что объём раствора равен 1.000 л:

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0.216 \text{ моль},$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 50.00 / 0.216 = 232 \text{ г/моль},$$

получаем

$$x = (232 - 106) / 18 = 7.$$

Ответ: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Уравнение гидролиза – 2 балла, расчет константы гидролиза 6 баллов, расчет концентрации карбоната – 4 балла, расчет n – 4 балла. Всего $8 + 4 + 4 = 16$ баллов.

6. Бесцветное кристаллическое вещество **X** массой 12.0 г растворили в воде и получили 100 г раствора, проба которого окрасила лакмус в красный цвет. Раствор разделили на три равные части и разлили их в колбы. В первую колбу добавили эквимольное количество гидрокарбоната натрия, во вторую – избыток цинка, а в третью – избыток раствора хлорида бария. В первой и второй колбах наблюдалось выделение газообразных продуктов реакции, причем объём газа, выделившегося из первой колбы, был в два раза больше объёма газа, выделившегося из второй. В третьей колбе выпал белый осадок массой 7.77 г. Определите **X**, запишите уравнения всех протекающих реакций. Найдите массовую долю растворенного вещества в первой колбе по окончании реакции с гидрокарбонатом после полного выделения газа. **(22 балла)**

Решение. Так как раствор **X** имеет кислую среду (окрашивание лакмуса в красный цвет, выделение углекислого газа при реакции с гидрокарбонатом, выделение водорода при реакции с цинком), а при добавлении хлорида бария к раствору **X** выпадает белый осадок, можно предположить, что это – гидросульфат.

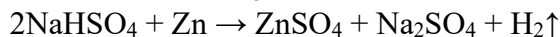
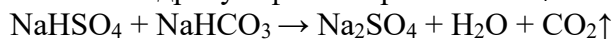
Полагая, что вещество **X** вступает в реакцию с хлоридом бария в эквимольном количестве, получаем:

$$v(\text{X}) = v(\text{BaSO}_4) = 7.77 / 233 = 0.0333 \text{ моль}.$$

Значит, в исходной навеске содержалось $0.0333 \cdot 3 = 0.1$ моль вещества **X**.

$$M(\text{X}) = 12 / 0.1 = 120 \text{ г/моль},$$

что соответствует молярной массе гидросульфата натрия NaHSO_4 .

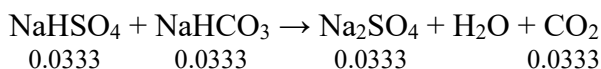


$$V(\text{CO}_2) = 2V(\text{H}_2),$$

что соответствует условию задачи.



В первой колбе по окончании реакции с гидрокарбонатом в растворе находится сульфат натрия:



$$m(\text{р-ра}) = 100 / 3 + 0.0333 \cdot 84 - 0.0333 \cdot 44 = 33.333 + 0.0333 \cdot 40 = 34.67 \text{ г}.$$

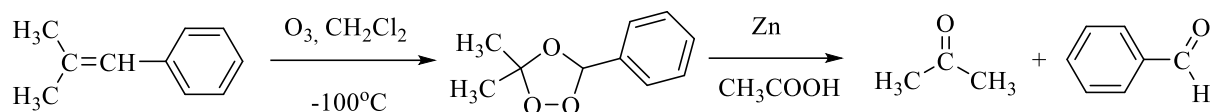
$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.0333 \cdot 142 = 4.73 \text{ г},$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4.73 / 34.67 = 0.136 \text{ (или 13.6\%)}.$$

Ответ: **X** – NaHSO_4 , 13.6% Na_2SO_4 .

Определение гидросульфата натрия – 6 баллов, 4 реакции по 3 балла – 12 баллов, расчет массовой доли Na_2SO_4 – 4 балла. Всего $6 + 12 + 4 = 22$ балла.

7. Озонолиз – окислительное расщепление алкенов по двойной связи, много десятилетий эта реакция служила основным способом определения строения алкенов, а также применялась в синтезе карбонильных соединений. В ходе реакции образуется нестабильный озонид, содержащий связь кислород–кислород, обработка которого цинком в уксусной кислоте дает смесь карбонильных соединений. Например, при обработке 1-фенил-2-метилпропена-1 озоном с последующим расщеплением озонида образуется смесь ацетона и бензальдегида:



Определите строение непредельного соединения **A**, если известно, что при обработке 14.4 г **A** озоном с последующим расщеплением цинком в уксусной кислоте получено соединение **B**. Для восстановления **B** необходимо 7.34 л водорода (измерено при 25 °С и 1 атм), в то время как обработка такого же количества **B** избытком аммиачного раствора оксида серебра приводит к образованию 32.4 г осадка. Установите строение соединений **A** и **B**, если известно, что **B** вступает в галоформную реакцию. Предложите метод синтеза **A** исходя из бензола и иодметана, напишите уравнения протекающих реакций. (22 балла)

Решение. Судя по условию задачи, непредельное соединение **A** имеет циклическое либо симметричное строение. Соединение **B** может вступать как в реакцию серебряного зеркала, так и в галоформную реакцию, следовательно, оно содержит альдегидный (CHO) и ацетильный (CH₃CO) фрагменты.

Количество вещества водорода для восстановления соединения **B**:

$$\nu(\text{H}_2) = 7.34 \cdot 101.3 / (8.314 \cdot 298) = 0.3 \text{ моль},$$

а количество серебра, полученного в реакции окисления,

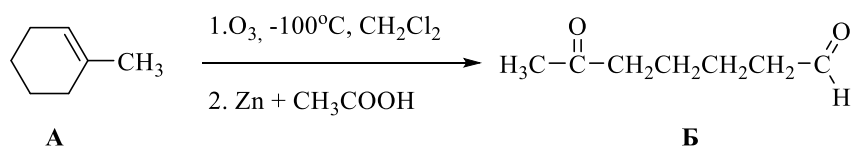
$$\nu(\text{Ag}) = 32.4 / 108 = 0.3 \text{ моль},$$

что говорит о том, что **B** содержит две карбонильные группы, одна из которых является альдегидной. Молярная масса **A** составляет

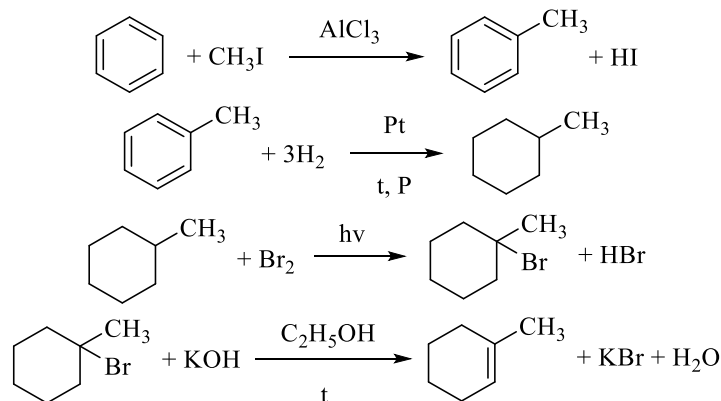
$$M(\text{A}) = 14.4 / 0.15 = 96 \text{ г/моль}.$$

Исходя из того, что **A** – это алкен, получаем $14n = 96$. Данное выражение не дает целочисленных значений n . Можно предположить, что **A** – это циклоалкен, и $14n - 2 = 96$, откуда $n = 7$.

Поскольку **A** можно получить из бензола и иодметана, это 1-метилциклогексен, озонолиз которого с последующим восстановительным расщеплением и приводит к искомому **B**:



Получение **A** из бензола и иодметана:



Установление **A** – 7 баллов, установление **B** – 7 баллов, получение **A** – 8 баллов (по 2 балла за реакцию). Всего 7 + 7 + 8 = 22 балла