

11 класс

Задание 1. Смесь углеводородов **А** и **Б** с одинаковой массовой долей углерода (92,308%) способна обесцвечивать бромную воду. Смесь **А** и **Б** массой 200 г обработали избытком раствора перманганата калия в сернокислой среде, после чего провели анализ, в результате которого обнаружили два органических вещества, одно – углеводород **А**, второе – бензойная кислота. После разделения органических продуктов установили, что углеводород **А** не обесцвечивает бромную воду. На нейтрализацию бензойной кислоты потребовалось 250 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность раствора 1,12 г/мл).

1) Установите молекулярные и структурные формулы углеводородов **А** и **Б**, назовите их. Ответ обоснуйте.

2) Определите состав исходной смеси углеводородов (в массовых процентах).

3) Приведите уравнения всех реакций, описанных в задаче.

4) Укажите основную область применения углеводорода **Б**. **20 баллов**

Решение

1) Установим простейшую формулу углеводородов **А** и **Б**.

Пусть масса **А** (или **Б**) – 100г. Тогда $m(C) = 92,308$ г, $m(H) = 7,692$ г;

$n(C) = 92,308/12 = 7,692$ моль; $n(H) = 7,692 / 1 = 7,692$ моль;

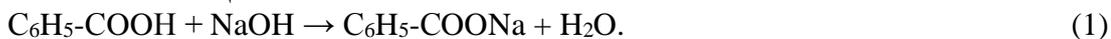
$n(C) : n(H) = 7,692 : 7,692 = 1 : 1$. Следовательно, простейшая формула CH .

Т.к. при окислении смеси углеводородов перманганатом калия образовалась бензойная кислота, а один из углеводородов (**А**) не вступил в реакцию, следовательно, углеводород, вступивший в реакцию (**Б**), содержит больше шести атомов углерода. Т.к. простейшая формула CH , подходит C_8H_8 . Это стирол.

Структурная формула $C_6H_5-CH=CH_2$.

Второй углеводород не способен окисляться перманганатом, не обесцвечивает бромную воду. Эти свойства характерны для бензола C_6H_6 . Итак, **А** – бензол, **Б** – стирол.

2) Установим содержание углеводородов в смеси. Уравнение нейтрализации бензойной кислоты щелочью:



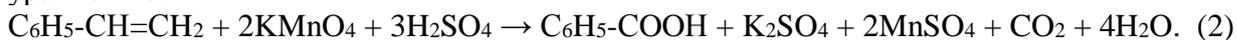
Масса раствора NaOH: $m(NaOH \text{ раств}) = \rho \cdot V = 1,12 \cdot 250 = 280$ г.

Масса NaOH: $m(NaOH) = \omega \cdot m(NaOH \text{ раств}) = 0,2 \cdot 280 = 56$ г.

Количество NaOH: $n(NaOH) = m/M = 56/40 = 1,4$ моль.

Согласно уравнению (1): $n(NaOH) = n(C_6H_5-COOH) = 1,4$ моль.

Окисление стирола перманганатом калия в сернокислой среде протекает по уравнению:



Согласно уравнению (2) $n(C_6H_5-COOH) = n(C_6H_5-CH=CH_2) = 1,4$ моль. Тогда масса стирола $m(C_6H_5-CH=CH_2) = n \cdot M = 1,4 \cdot 104 = 145,6$ г.

Масса бензола: $m(C_6H_6) = m(\text{смеси}) - m(C_6H_5-CH=CH_2) = 200 - 145,6 = 54,4$ г.

Массовые доли углеводородов в смеси: $\omega(\text{стирола}) = 145,6/200 = 0,728$ (72,8%); $\omega(\text{бензола}) = 100 - 72,8 = 27,2\%$.

3) Исходная смесь обесцвечивает бромную воду за счет стирола:



4) Стирол используется для получения полистирола – полимера, широко применяющегося для производства тары, упаковки, строительных и теплоизоляционных материалов.

Критерии оценивания: За установление соотношения количеств углерода и водорода (простейшая формула) – **2 балла**.

По 1 баллу за молекулярные и структурные формулы бензола и стирола (с обоснованием) – всего 4 балла (если без обоснования – всего 2 балла), по 1 баллу за название бензола и стирола – всего **6 баллов**.

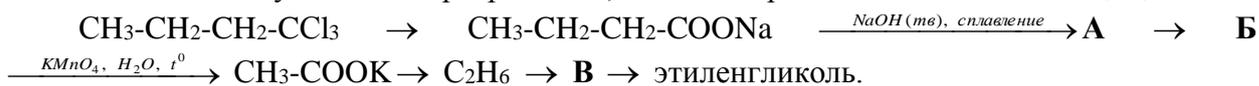
За уравнения 1 - 3 по 2 балла – всего **6 баллов**.

За расчет массовых долей бензола и стирола – **5 баллов**.

За применение стирола – **1 балл**.

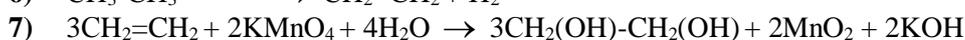
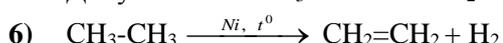
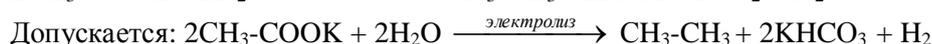
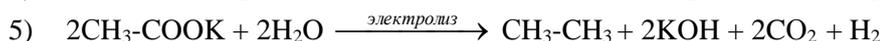
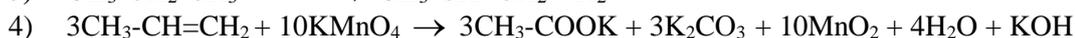
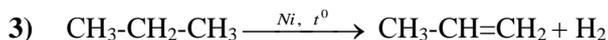
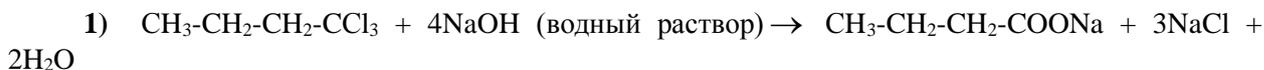
Итого 20 баллов

Задание 2. Осуществите превращения, назовите органические вещества **А, Б, В:**



При написании уравнений реакций используйте структурные формулы органических веществ. **19 баллов**

Решение:



А – пропан, **Б** – пропен, **В** – этен.

Критерии оценивания:

За уравнения 1, 4 – по 3 балла, за остальные уравнения – по 2 балла – всего **16 баллов**.

За названия веществ **А, Б, В** – по 1 баллу, всего **3 балла**.

Итого 19 баллов

Задание 3. Электролиз 400 г раствора сульфата меди (II) с массовой долей соли 5% продолжали до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 8 г. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе и массы продуктов, выделившихся на электродах.

15 баллов

Решение:

1) Количество вещества сульфата меди в исходном растворе:

$$n(\text{CuSO}_4) = 400 \cdot 0,05 / 160 = 0,125 \text{ моль.}$$

2) Электролиз протекает по уравнению:



Определим, до конца ли он прошел электролиз.

Изменение массы раствора - это сумма масс веществ, выделившихся на электродах:

$$\Delta m = m(\text{Cu}^0) + m(\text{O}_2).$$

Согласно уравнению (1), $n(\text{Cu})_{\text{теор}} = n(\text{CuSO}_4) = 0,125$ моль, $m(\text{Cu})_{\text{теор}} = 0,125 \cdot 64 = 8$ г;

$n(\text{O}_2)_{\text{теор}} = 0,5n(\text{CuSO}_4) = 0,0625$ моль, $m(\text{O}_2)_{\text{теор}} = 0,0625 \cdot 32 = 2$ г; $\Delta m = 8 + 2 = 10$ г, что больше практического значения, следовательно, электролиз прошел не до конца. После в электролиза растворе будут серная кислота и сульфат меди.

2) Определим количество и массу прореагировавшего сульфата меди, количество и массу образовавшихся продуктов.

Пусть прореагировало x моль CuSO_4 : $n(\text{CuSO}_4)_p = x$. Тогда количества продуктов в реакции: $n(\text{Cu})_p = x$, $n(\text{O}_2)_p = 0,5x$, $n(\text{H}_2\text{SO}_4)_p = x$.

Масса продуктов на электродах:

$8 = 64x + 32 \cdot 0,5x$. Отсюда $x = 0,1$, $n(\text{Cu})_p = 0,1$ моль, $n(\text{O}_2)_p = 0,05$ моль, $n(\text{H}_2\text{SO}_4)_p = 0,1$ моль.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)_p = 0,1 \cdot 98 = 9,8 \text{ г}; m(\text{O}_2)_p = 0,05 \cdot 32 = 1,6 \text{ г}; m(\text{Cu})_p = 0,1 \cdot 64 = 6,4 \text{ г}$$

$$m(\text{оставшегося CuSO}_4) = (0,125 - 0,1) \cdot 160 = 4 \text{ г.}$$

3) Определим массу раствора и массовые доли компонентов в растворе.

$$m(\text{конечного раствора}) = 400 - 8 = 392 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 4/392 = 0,0102; \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9,8/392 = 0,025$$

Ответ: $m(\text{O}_2) = 1,6$ г; $m(\text{Cu}) = 6,4$ г; $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,5\%$; $\omega(\text{CuSO}_4) = 1,02\%$.

Критерии оценивания:

За уравнение электролиза – **2 балла**. За понимание, что изменение массы раствора - это сумма масс веществ, выделившихся на электродах **2 балла**. За проверку расчетом, прошел ли электролиз до конца – **2 балла**.

За определение количеств и масс прореагировавшего сульфата меди и продуктов, образовавшихся при электролизе – **5 баллов**. За определение массы сульфата меди, оставшегося после электролиза – **2 балла**.

За расчет массовых долей сульфата меди и серной кислоты – по 1 баллу, всего **2 балла**. **Итого 15 баллов**

Задание 4. При добавлении к смеси порошков двух простых веществ **А** темно-серого цвета и **Б** серебристо-белого цвета нескольких капель жидкости **В**, происходит бурная реакция образования вещества **Г**. При добавлении к веществу **Г** избытка раствора гидроксида натрия образуется бесцветный раствор. При пропускании в этот раствор хлора выпадает белый осадок **Д**, а раствор окрашивается в бурый цвет. Если же к веществу **Г** добавить избыток аммиачной воды, то осадок **Д** выпадает сразу же.

Определите вещества **А – Д** (ответ обоснуйте), если известно, что **Б** – один из самых распространенных элементов земной коры. Напишите уравнения упомянутых в задаче реакций. **20 баллов**

Решение: Порошок серебристо-белого цвета, простое вещество, явно металл. Другое простое вещество темно-серого цвета, скорее всего, иод (**А**). На это указывают последующие превращения, где образование иода приводит к окрашиванию раствора в бурый цвет.

Иод бурно реагирует с порошком алюминия, цинка и других активных металлов при добавлении капли воды (**В**) в качестве катализатора. **Б** – какой-либо активный металл, исключая щелочные и щелочноземельные, из которых невозможно приготовить порошок и которые реагируют с иодом без катализатора. Вещество **Г** – иодид активного металла. Тот факт, что при добавлении к веществу **Г** избытка раствора гидроксида натрия образуется бесцветный раствор, указывает на то, что гидроксид металла амфотерный, иначе вместо раствора образовался бы осадок гидроксида металла. Тот факт, что при добавлении к **Г** избытка аммиачной воды (25%-го раствора аммиака) выпадает белый осадок, указывает, что металл **Б** – алюминий, т.к. его гидроксид амфотерен, представляет собой белый осадок, и при взаимодействии с раствором аммиака соли алюминия идет осаждение, а не комплексообразование, как, например, в случае соли цинка. Кроме того, алюминий – один из самых распространенных элементов земной коры. Железо, хром не подходят, т.к. образуют цветные осадки.

Итак, **А** – иод, **Б** – алюминий, **В** – вода, **Г** – иодид алюминия, **Д** – гидроксид алюминия.

Уравнения реакций:

- 1) $2Al + 3I_2 \xrightarrow{H_2O} 2AlI_3$ (бурная реакция при добавлении капли воды)
- 2) $AlI_3 + 4NaOH = Na[Al(OH)_4] + 3NaI$ (образование бесцветного раствора)
- 3) $2NaI + Cl_2 = 2NaCl + I_2$ (окрашивание раствора в бурый цвет за счет того, что иод растворяется в водных растворах иодидов с образованием бурых полииодидов)
- 4) $Na[Al(OH)_4] + Cl_2 = Al(OH)_3 + NaCl + NaClO + H_2O$ (образование белого осадка; фактически идет в две стадии: разложение комплекса на гидроксид алюминия и щелочь и взаимодействие щелочи с хлором)
- 5) $AlI_3 + 3NH_3 \cdot H_2O = Al(OH)_3 + 3NH_4I$ (образование белого осадка).

Критерии оценивания:

За определение веществ **А – Д** (с обоснованием) – **10 баллов** (по 2 балла за вещество), без обоснования – по 1 баллу за вещество.

За уравнения 1- 5 – по 2 балла, всего **10 баллов**.

Итого 20 баллов

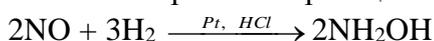
Задание 5. Для получения вещества **А** используют два газа: бесцветный газ **Б**, который образуется в атмосфере при грозовых разрядах и быстро бурееет на воздухе, и газ **В**, название которого переводится как «рождающий воду». При взаимодействии этих газов в объемном соотношении **Б : В = 2 : 3** в присутствии катализатора (суспензия платины в соляной кислоте) образуется вещество **А**, являющееся единственным

продуктом реакции. Вещество **А** обладает слабыми основными, сильными окислительными и еще более сильными восстановительными свойствами.

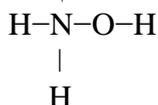
Установите молекулярную и структурную формулы вещества **А**, назовите его, приведите уравнение реакции его получения из веществ **Б** и **В**. Объясните, за счет чего вещество **А** проявляет свойства оснований. В чем причина сильных восстановительных и окислительных свойств **А**? Приведите реакции взаимодействия вещества **А**: а) с раствором серной кислоты; б) с иодоводородной кислотой; в) с иодом в щелочной среде. Какую роль играет вещество **А** в этих реакциях? Для окислительно-восстановительных реакций приведите электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель.

26 баллов

Решение: Газ **Б** – оксид азота (II) NO (образуется при грозовых разрядах из азота и кислорода, бурет на воздухе за счет окисления до NO₂), газ **В** – водород (рождающий воду). Т.к. газы реагируют в соотношении 2 : 3 и единственный продукт их взаимодействия - вещество **А**, то, согласно закону сохранения массы, продукт содержит атомы азота, водорода и кислорода в соотношении 2 : 6 : 2, т.е. простейшая формула вещества NH₃O. Уравнение реакции их взаимодействия:

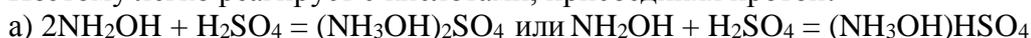


Вещество **А** - NH₂OH – гидроксиламин, структурная формула



Гидроксиламин обладает основными свойствами за счет неподеленной электронной пары на атоме азота, как в аммиаке. (Не принимается ответ: основные свойства обусловлены наличием группы OH!)

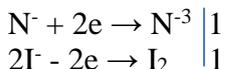
Поэтому легко реагирует с кислотами, присоединяя протон:



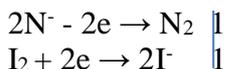
В этой реакции гидроксиламин играет роль основания.

Так в гидроксилamine атом азота находится в промежуточной степени окисления (-1), то атом азота может проявлять и свойства окислителя, и свойства восстановителя. Эта промежуточная степень окисления неустойчива для азота, поэтому он легко принимает и отдает электроны, переходя в более устойчивые степени окисления 0 и -3. Соответственно является и сильным окислителем, и сильным восстановителем.

б) Т.к. иодоводородная кислота – восстановитель (за счет I⁻), то в реакции с ней гидроксиламин будет выполнять роль окислителя:



в) Так как для иода характерны окислительные свойства, то в реакции с ним гидроксиламин будет выполнять роль восстановителя:



Критерии оценивания:

За определение веществ **Б** (NO) и **В** (H₂) с обоснованием – по 2 балла, всего **4 балла**.
За установление молекулярной формулы гидроксилamina – **2 балла**, его структурной формулы – **2 балла**, за название гидроксиламин – **1 балл**.

За обоснование основных, окислительных и восстановительных свойств – по 2 балла, всего **6 баллов**.

За уравнение получения гидроксилamina – **1 балл**.

За уравнения а, б, в – по 2 балла, всего **6 баллов**.

За электронный баланс для уравнений б, в – по 1 баллу, всего **2 балла**.

За определение окислителя и восстановителя в уравнениях б, в – по 1 баллу, всего **2 балла**.

Итого 26 баллов