

Олимпиада школьников «Ломоносов»
Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии
10 классы

1. Назовите два газообразных вещества, имеющих плотность по метану 2.125. Приведите формулу органического соединения, молекула которого содержит такое же число электронов, как молекула одного из газов. **(6 баллов)**

Решение. Газы с данной плотностью по метану имеют следующую молярную массу:

$$M = 2.125 \cdot 16 = 34 \text{ г/моль.}$$

Подходящие вещества – фосфин PH_3 и сероводород H_2S . В молекулах обоих газов по 18 электронов, такое же число электронов содержат молекулы этана C_2H_6 и метанола CH_3OH .

2 балла – расчет молярной массы газов, по 1 баллу за каждый газ, 2 балла за число электронов и формулу органического вещества. Всего $2 + 2 + 2 = 6$ баллов.

2. Метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) применяется как нетоксичный высокооктановый компонент бензинов, способствующий более полному сгоранию топлива и предотвращению коррозии. Массовая доля МТБЭ 7% дает увеличение октанового числа бензина на 3 единицы. Рассчитайте, какой объём МТБЭ необходимо добавить к 20 м^3 бензина АИ-92 для получения бензина с октановым числом 95. Плотности АИ-92 и МТБЭ примите равными 760 и 740 кг/м^3 соответственно. В промышленности МТБЭ получают при взаимодействии изобутена с метанолом в присутствии кислотного катализатора. Предложите альтернативный метод синтеза МТБЭ из метана и бутана. **(12 баллов)**

Решение. Масса порции бензина АИ-92 равна

$$m(\text{АИ-92}) = 20 \cdot 760 = 15200 \text{ кг.}$$

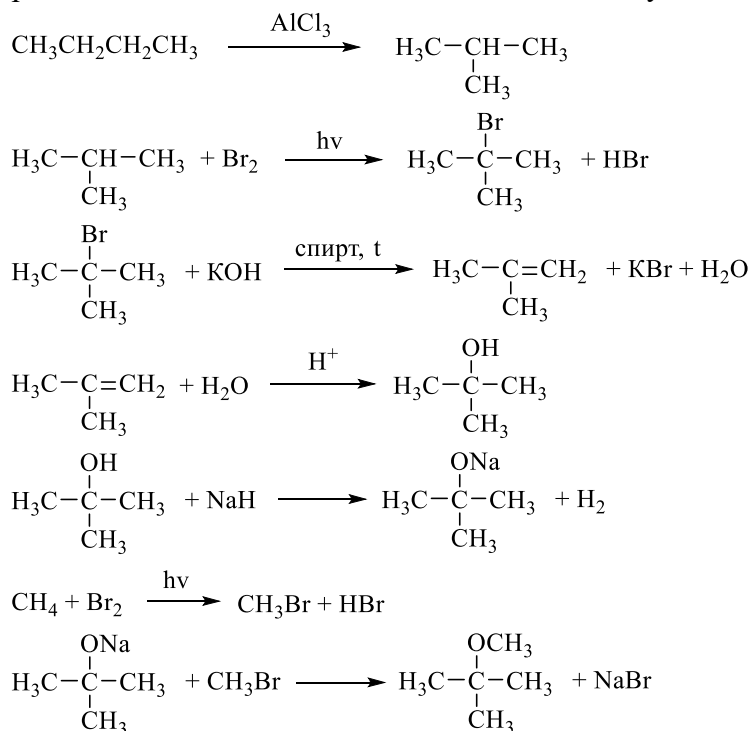
Пусть x (кг) – масса добавленного МТБЭ. Выражение для массовой доли метилтретбутилового эфира:

$$\omega(\text{МТБЭ}) = 0.07 = x / (15200 + x),$$

откуда $x = 1144 \text{ кг}$. Объём добавленного МТБЭ составляет

$$V(\text{МТБЭ}) = m / \rho = 1144 / 740 = 1.55 \text{ м}^3.$$

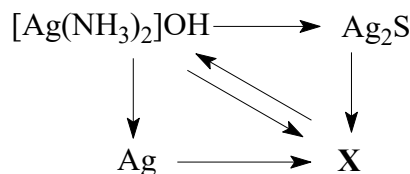
Альтернативный метод синтеза МТБЭ из метана и бутана:



Ответ: 1.55 м^3 .

5 баллов – расчет объема МТБЭ, 7 баллов – метод синтеза МТБЭ. Всего $5 + 7 = 12$ баллов.

3. Напишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений, укажите условия их проведения (вещество X содержит серебро). **(10 баллов)**



Решение. Один из возможных вариантов решения:

- 1) $2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 5\text{H}_2\text{S}(\text{изб}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{S}\downarrow + 4\text{NH}_4\text{HS} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{Ag}_2\text{S} + 10\text{HNO}_3(\text{конц}) \rightarrow 2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$
- 3) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{HNO}_3 \rightarrow \text{AgNO}_3 + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{AgNO}_3 + 3\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{NH}_4\text{NO}_3$
- 5) $4[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{H}_2\text{CO} \xrightarrow{t} 4\text{Ag}\downarrow + 7\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{HCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6) $3\text{Ag} + 4\text{HNO}_3(\text{разб}) \rightarrow 3\text{AgNO}_3 + \text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

Ответ: X – AgNO_3 .

6 реакций по 1.5 балла + 1 балл за вещество X. Всего $1.5 \cdot 6 + 1 = 10$ баллов.

4. Произведение растворимости бромида свинца PbBr_2 составляет $5 \cdot 10^{-5}$. Определите растворимость соли в чистой воде (концентрацию насыщенного раствора) в единицах моль/л и г/л. Во сколько раз меньше окажется растворимость PbBr_2 , если растворять соль в 0.1 М растворе NaBr ? **(16 баллов)**

Решение. Запишем выражение для произведения растворимости соли, обозначив ее растворимость в чистой воде за x :

$$\begin{aligned}
 \text{PbBr}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{Br}^-, \\
 x \text{ моль/л} \quad & \quad x \quad 2x \\
 \text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Br}^-]^2 &= x \cdot (2x)^2 = 4x^3. \\
 x = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} &= \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 10^{-5}}{4}} = 2.32 \cdot 10^{-2} \text{ (моль/л)}.
 \end{aligned}$$

Выразить растворимость в единицах г/л можно, умножив молярную концентрацию насыщенного раствора соли на ее молярную массу:

$$s = 2.32 \cdot 10^{-2} \cdot 367 = 8.51 \text{ г/л}.$$

Если растворение происходит в растворе, уже содержащем бромид-ион в концентрации 0.1 моль/л, тогда

$$\begin{aligned}
 \text{PbBr}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{Br}^-, \\
 y \quad & \quad y \quad 2y + 0.1 \\
 \text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Br}^-]^2 &= y \cdot (2y + 0.1)^2.
 \end{aligned}$$

Можно решать полученное кубическое уравнение, а можно использовать приближение, пренебрегая концентрацией бромид-ионов, создаваемой диссоциацией соли:

$$\begin{aligned}
 \text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Br}^-]^2 &\sim y \cdot 0.1^2. \\
 y &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}.
 \end{aligned}$$

Растворимость PbBr_2 в растворе, содержащем одноименный ион, оказалась меньше в

$$x / y = 2.32 \cdot 10^{-2} / 5 \cdot 10^{-3} = 4.64 \text{ раза}.$$

Ответ: $2.32 \cdot 10^{-2}$ моль/л, 8.51 г/л, 4.64 раза.

6 баллов – расчет растворимости в воде, 2 балла – пересчет в г/л, 8 баллов – расчет растворимости в растворе NaBr. Всего $6 + 2 + 8 = 16$ баллов.

5. Твердая карбоновая кислота, массовая доля кислорода в которой равна 0.2623, используется в экспериментальной термохимии в качестве стандарта, а ее соль зарегистрирована как пищевая добавка. При сжигании навески кислоты выделилось 32.28 кДж теплоты. Продукты сгорания пропустили через избыток раствора гидроксида бария, масса образовавшегося осадка составила 13.8 г. Найдите теплоту сгорания и теплоту образования кислоты, если теплоты образования углекислого газа и жидкой воды равны 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(16 баллов)**

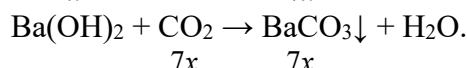
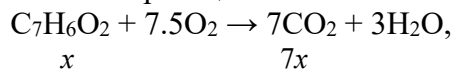
Решение. Пусть данная кислота – монокарбоновая и содержит два атома кислорода в молекуле. Тогда, зная массовую долю кислорода, можно определить молярную массу кислоты:

$$\omega(\text{O}) = 32 / M = 0.2623,$$

$$M = 32 / 0.2623 = 122 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса соответствует бензойной кислоте $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$, которая действительно является тепловым стандартом в калориметрии, а ее соль, бензоат натрия, является пищевой добавкой.

Уравнения горения x моль кислоты и реакция газа с избытком раствора гидроксида бария:



$$\nu(\text{BaCO}_3) = 13.8 / 197 = 0.07 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 0.07 / 7 = 0.01 \text{ моль.}$$

Теплота сгорания бензойной кислоты составляет

$$Q_{\text{сгор}} = 32.28 / 0.01 = 3228 \text{ кДж/моль.}$$

По закону Гесса, теплота сгорания может быть выражена через теплоты образования участников реакции:

$$3228 = 7 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - Q_{\text{обр}}(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2),$$

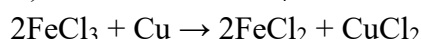
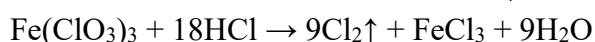
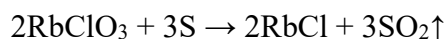
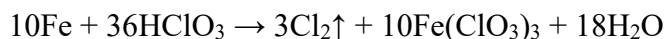
$$Q_{\text{обр}}(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 383.9 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: 3228 кДж/моль, 383.9 кДж/моль.

Идентификация кислоты – 2 балла, уравнения реакций – 4 балла, расчет количества вещества кислоты – 4 балла, теплота сгорания – 2 балла, теплота образования – 4 балла.
Всего 2 + 4 + 4 + 2 + 4 = 16 баллов.

6. Навеска железа прореагировала с раствором хлорноватой кислоты, при этом выделился желто-зеленый газ X и образовался раствор 1. Газ X количественно поглотили горячим раствором карбоната рубидия. При охлаждении этого раствора выпали кристаллы вещества Y. Известно, что в сухом виде вещество Y активно реагирует с серой. К раствору 1 добавили соляную кислоту, взятую в избытке. При этом выделился газ X и образовался раствор 2, в котором можно растворить 19.2 г меди. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения проведенных реакций. Найдите массу исходной навески железа. **(20 баллов)**

Решение. Протекают реакции:



Расчет количества вещества и массы навески железа:

$$\nu(\text{Cu}) = 19.2 / 64 = 0.3 \text{ моль,}$$

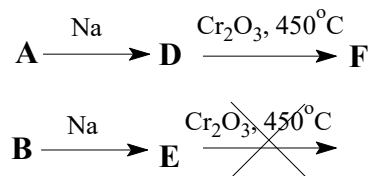
$$\nu(\text{FeCl}_3) = \nu(\text{Fe}) = 0.3 \cdot 2 = 0.6 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Fe}) = 0.6 \cdot 56 = 33.6 \text{ г.}$$

Ответ: X – Cl_2 , Y – RbClO_3 ; 33.6 г Fe.

5 реакций по 3 балла каждая, 5 баллов – расчет массы навески. Всего 5 · 3 + 5 = 20 баллов.

7. Два изомерных монобромпроизводных **A** и **B** при дегидрогалогенировании образуют один и тот же алкен **C**. При введении **A** и **B** в следующую последовательность превращений ароматический углеводород **F** образуется только в одной реакции:



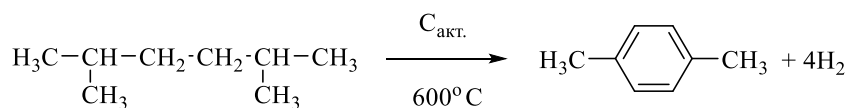
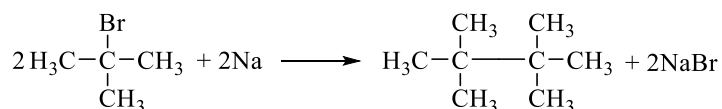
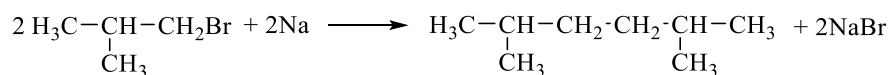
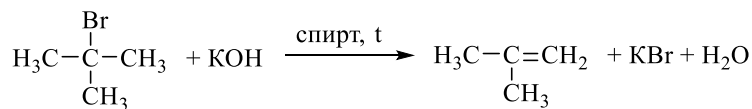
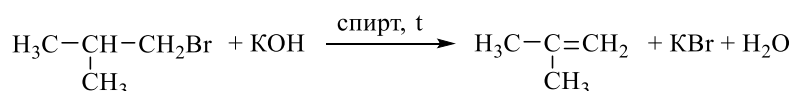
Определите строение всех упомянутых соединений, если известно, что для окисления 5.3 г **F** потребовалось 300 мл 0.4 М раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой, и при этом не происходило выделения газа. Напишите уравнения протекающих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Поскольку при окислении ароматического углеводорода **F** не происходило выделения газа, можно предположить, что **F** – это метилзамещённый алкен. Количество вещества перманганата, пошедшего на его окисление:

$$v(\text{KMnO}_4) = 0.3 \cdot 0.4 = 0.12 \text{ моль.}$$

Если вещество **F** содержало одну метильную группу, то его было 0.1 моль и его молярная масса равна 53 г/моль, что не может соответствовать углеводороду (нечетное значение). Если **F** содержит две метильные группы, то $M(\text{F}) = 106$ г/моль, что соответствует одному из изомерных ксилолов, следовательно, исходные монобромпроизводные **A** и **B** имели состав $\text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$.

A – это 1-бром 2-метил-пропан, а **B** – 2-бром-2-метилпропан. Уравнения реакций:



Расчет количества перманганата – 2 балла, 6 реакций по 3 балла. Всего 2 + 6 · 3 = 20 баллов.