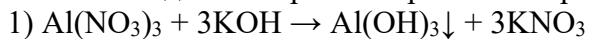


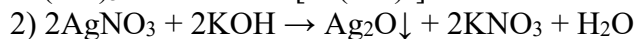
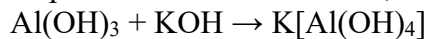
Олимпиада школьников «Ломоносов»
Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии
11 классы
1 вариант

1.3. Как одним реагентом различить водные растворы $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, AgNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$? Напишите уравнения реакций, кратко опишите наблюдаемые явления. **(4 балла)**

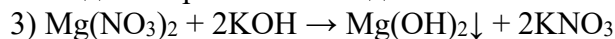
Решение. Один из вариантов реактива – раствор гидроксида калия KOH :



Образование белого осадка, который растворяется в избытке щелочи:



Выпадает коричневый осадок.



Выпадает белый осадок.

Ответ: KOH .

3 балла за реакции + 1 балл – за адекватный реактив и признаки реакций.

2.1. Пропан-бутановая смесь (моторное топливо) содержит пропан и *n*-бутан. Зимняя смесь содержит больше пропана (70 мол% пропана и 30 мол% *n*-бутана), в летней смеси больше *n*-бутана (40 мол% пропана и 60 мол% *n*-бутана). Для расчета термодинамических свойств органических соединений можно использовать метод групповых вкладов, в рамках которого свойство вещества вычисляется как сумма вкладов отдельных групп, из которых состоит его молекула. Групповые вклады для расчета теплоты сгорания предельных углеводородов (кДж/моль) приведены в таблице. Рассчитайте количество теплоты (в кДж/моль), которое выделится при сгорании зимней и летней смесей, сравните полученные величины.

С первичный	CH_3	С вторичный	CH_2	С третичный	CH	С четвертичный	C
779.9		652.3		518.4		398.9	

Чем обусловлена необходимость сезонной смены состава топливных смесей? **(8 баллов)**

Решение. Пользуясь методом групповых вкладов, рассчитаем теплоты сгорания пропана и *n*-бутана:

$$Q_{\text{сгор}}(\text{C}_3\text{H}_8) = 2 \cdot 779.9 + 652.3 = 2212.1 \text{ кДж/моль},$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 2 \cdot 779.9 + 2 \cdot 652.3 = 2864.4 \text{ кДж/моль}.$$

Зная мольные теплоты сгорания углеводородов и состав смесей, рассчитаем теплоты сгорания обеих смесей в расчете на 1 моль:

$$Q_{\text{зимн}} = 2212.1 \cdot 0.7 + 2864.4 \cdot 0.3 = 2407.8 \text{ кДж/моль},$$

$$Q_{\text{летн}} = 2212.1 \cdot 0.4 + 2864.4 \cdot 0.6 = 2603.5 \text{ кДж/моль}.$$

Сравнение теплот сгорания показывает, что $Q_{\text{летн}} > Q_{\text{зимн}}$. Зимняя смесь обеднена бутаном, хотя теплота сгорания у него выше, чем у пропана. Причина сезонной смены состава топливных смесей заключается в том, что бутан легко конденсируется при пониженных температурах, что может нарушить работу двигателя автомобиля.

Ответ: $Q_{\text{зимн}} = 2407.8 \text{ кДж/моль}$, $Q_{\text{летн}} = 2603.5 \text{ кДж/моль}$.

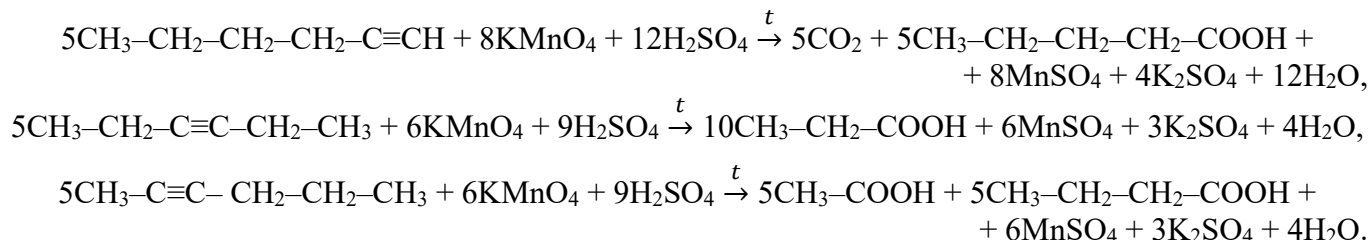
Расчет теплот сгорания пропана и бутана – 4 балла, расчет теплот сгорания смесей – 3 балла, причина сезонной смены смеси – 1 балл.

3.4. При инвентаризации в лаборатории органического синтеза обнаружили три неподписанные колбы с легкокипящими жидкостями **А**, **В** и **С**. Элементный анализ показал, что состав жидкостей одинаков: это углеводороды, содержащие 87.8 масс.% углерода. Равные порции жидкостей способны прореагировать с одинаковым количеством брома, растворённого в CCl_4 . Далее все углеводороды одинаковой массы были обработаны подкисленным раствором перманганата калия при нагревании, на окисление **А** было израсходовано 720 мл, на окисление **В** – 320 мл, а на окисление **С** – 240 мл раствора, причём во всех случаях из органических продуктов образовались только одноосновные кислоты. Предложите возможное строение **А**, **В** и **С**, напишите уравнения протекающих реакций. Каким ещё способом можно различить **В** и **С**? **(12 баллов)**

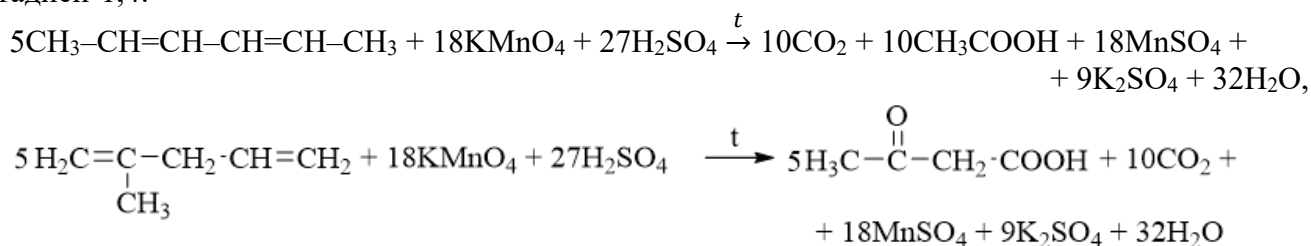
Решение. Найдём брутто-формулу углеводородов C_xH_y на основе данных по элементному составу:

$$x : y = v(C) : v(H) = (87.8/12) : (12.2/1) = 1 : 1.667 = 6 : 10.$$

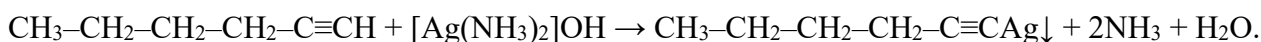
Составу C_6H_{10} может соответствовать алкин, диен или циклоалкен, но поскольку все изомеры взаимодействуют с одинаковым количеством брома, исходными углеводородами могут быть либо алкины, либо диены. Для окисления углеводорода **A** требуется значительно большее количество окислителя, следовательно, **A** – диен, а **B** и **C** – алкины. Алкин **B**, для которого требуется больше окислителя – терминальный, поскольку происходит окисление атома углерода до максимально возможной степени окисления, а алкин **C** – интернальный. Так как при окислении всех углеводородов образуется одноосновная кислота, то алкин **B** – гексин-1, а алкин **C** – гексин-3 или гексин-2:



Для окисления диена **A** требуется в 3 раза больше окислителя по сравнению с алкином **C**, следовательно, одна молекула диена **A** должна отдавать 18 электронов и при окислении образовывать одноосновную кислоту. Таким требованиям отвечает гексадиен-2,4 или 2-метилпентадиен-1,4:



Чтобы различить терминальный и интернальный алкины **B** и **C**, можно использовать аммиачный раствор оксида серебра или аммиачный раствор соли меди(I). Терминальные алкины дают с этими реактивами осадки:



Ответ: **A** – гексадиен-2,4 или 2-метилпентадиен-1,4, **B** – гексин-1, **C** – гексин-3 или гексин-2.

Состав – 1 балл, 3 реакции окисления по 3 балла, 2 балла – реакция для различения B и C.
1 + 3 · 3 + 2 = 12 баллов

4.1. Радиоуглеродный анализ – метод определения возраста материалов путём измерения содержания в них радиоактивного изотопа ^{14}C по отношению к стабильным изотопам углерода.

В феврале 2026 г. в художественный музей из частной коллекции попала картина предположительно авторства голландского живописца Яна Вермеера (1632-1675) «Вид Делфта». Для проверки её подлинности был проведен радиоуглеродный анализ, который показал, что активность ^{14}C в отобранных микрообразцах холста составляет 14.50 распадов/(мин·г). Период полураспада изотопа ^{14}C равен 5730 лет, а его активность в живых организмах составляет 15.00 распадов/(мин·г). Может ли данная картина оказаться подлинником? **(12 баллов)**

Решение. Запишем закон радиоактивного распада через активности ^{14}C :

$$a(t) = a_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}.$$

Подставляем численные значения величин из условия задачи:

$$\begin{aligned} 14.50 &= 15.0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}, \\ 0.9667 &= \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}. \end{aligned}$$

Логарифмируем:

$$\lg 0.9667 = \frac{t}{5730} \lg 0.5$$

и получаем значение $t = 280$ лет. Таким образом, возраст холста, на котором была написана картина, составляет 280 лет. Холст можно отнести к $2026 - 280 = 1746$ г., т. е. он был изготовлен через 71 год после смерти художника. Картина, очевидно, не является подлинником. Оригинал находится в Королевском кабинете живописи Маурицхейс в Гааге.

Ответ: нет.

Закон радиоактивного распада, записанный через активности, – 4 балла, решение уравнения, расчет года создания холста – 6 баллов, правильная интерпретация результатов (привлечение даты смерти художника) – 2 балла.

5.4. Энергия активации элементарной газовой реакции $2A \rightarrow B + C$ равна 96 кДж/моль. При понижении температуры от 320 до 310 К и одновременном уменьшении объема реактора в четыре раза начальная скорость реакции увеличилась. Рассчитайте, во сколько раз увеличилась скорость. (14 баллов)

Решение. Пусть c_1 – начальная концентрация реагента А до уменьшения объема реактора, тогда $c_2 = 4c_1$ – начальная концентрация А при уменьшении объема в 4 раза. Начальные скорости реакций до (v_1) и после (v_2) изменения условий различаются в x раз: $xv_1 = v_2$. Запишем выражения для закона действующих масс для начальных скоростей:

$$\begin{aligned}v_1 &= k_1 \cdot c_1^2, \\v_2 &= k_2 \cdot (4c_1)^2, \\xk_1 \cdot c_1^2 &= k_2 \cdot 16c_1^2 \\k_1 / k_2 &= 16 / x.\end{aligned}$$

Отношение констант скорости можно выразить, применив уравнение Аррениуса:

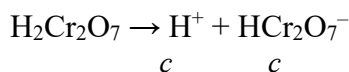
$$\begin{aligned}\ln(k_1 / k_2) &= \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \\ \ln(k_1 / k_2) &= \frac{96000}{8.314} \left(\frac{1}{310} - \frac{1}{320} \right), \\ k_1 / k_2 &= 3.203 = 16 / x \\ x &= 5\end{aligned}$$

Ответ: скорость увеличилась в 5 раз.

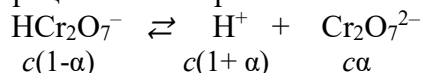
Расчеты, связанные с влиянием концентрации реагента на скорость реакции (закон действующих масс) – 7 баллов, расчеты, связанные с влиянием температуры на скорость реакции (уравнение Аррениуса) – 7 баллов. Всего 14 баллов.

6.2. Определите концентрацию и pH раствора дихромовой кислоты, в котором степень ее диссоциации по первой ступени равна 100%, а по второй – 9%. Константа диссоциации по второй ступени $K(\text{HCr}_2\text{O}_7^-) = 2.3 \cdot 10^{-2}$. (14 баллов)

Решение. Обозначим исходную концентрацию кислоты c (моль/л). По первой ступени дихромовая кислота диссоциирована полностью.



По второй ступени дихромовая кислота диссоциирована частично (α – степень диссоциации по второй ступени). Тогда концентрации ионов в равновесии:



Константа диссоциации $K(\text{HCr}_2\text{O}_7^-) = \frac{[\text{H}^+][\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]}{[\text{HCr}_2\text{O}_7^-]}$

$$K = c(1+\alpha)c\alpha / c(1-\alpha) = c(1+\alpha)\alpha / (1-\alpha)$$

$$c = K(1-\alpha) / (1+\alpha)\alpha = 2.3 \cdot 10^{-2} (1-0.09) / (1+0.09) \cdot 0.09 = 0.213 \text{ (моль/л)}.$$

Чтобы рассчитать pH, нужно найти равновесную концентрацию ионов водорода:

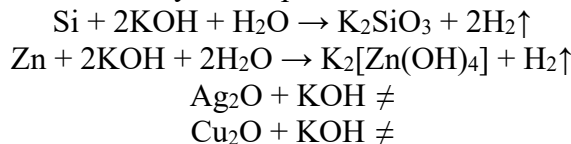
$$\begin{aligned}[\text{H}^+] &= c(1+\alpha) = 0.213(1+0.09) = 0.232 \text{ моль/л,} \\ \text{pH} &= 0.63\end{aligned}$$

Ответ: 0.213 моль/л, pH = 0.63.

Расчет концентрации кислоты – 7 баллов, расчет концентрации ионов H^+ и pH – 7 баллов.

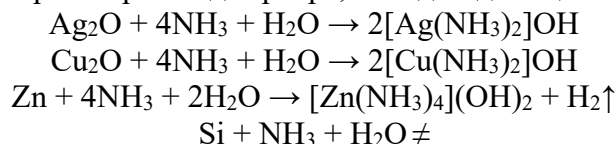
7.3. Смесь содержит оксид серебра Ag_2O , оксид меди Cu_2O , кремний и цинк. Одинаковые навески смеси по 84.1 г в каждой испытали на отношение к избыткам растворов щелочи, аммиака и азотной кислоты. После обработки навески раствором гидроксида калия выделилось 20.16 л (н. у.) газа. При обработке такой же навески раствором аммиака объем выделившегося газа (н. у.) был в 9 раз меньше. Добавление к навеске концентрированной азотной кислоты привело к выделению 17.92 л (н. у.) бурого газа. Рассчитайте массу каждого вещества в навеске. Напишите уравнения всех реакций, происходящих при этих экспериментах. **(18 баллов)**

Решение. 1) Раствор щелочи действует на кремний и цинк:



$$v(\text{H}_2) = 2v(\text{Si}) + v(\text{Zn}) = 20.16 / 22.4 = 0.9 \text{ моль.}$$

2) Аммиак переводит в раствор оксид серебра, оксид меди и цинк:



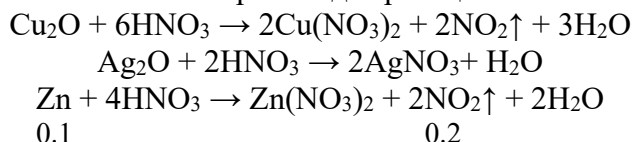
$$v(\text{H}_2) = v(\text{Zn}) = 0.9 / 9 = 0.1 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Zn}) = 65 \cdot 0.1 = 6.5 \text{ г.}$$

Тогда $v(\text{Si}) = (0.9 - 0.1) / 2 = 0.4 \text{ моль,}$

$$m(\text{Si}) = 28 \cdot 0.4 = 11.2 \text{ г.}$$

3) При добавлении азотной кислоты происходят реакции:



$$v(\text{NO}_2) = 17.92 / 22.4 = 0.8 \text{ моль}$$

$$v(\text{Cu}_2\text{O}) = (0.8 - 0.2) / 2 = 0.3 \text{ моль}$$

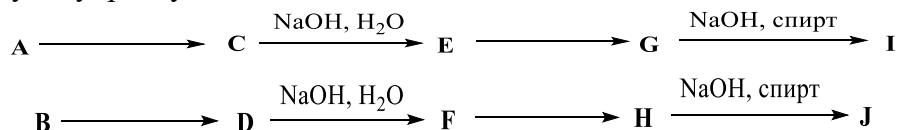
$$m(\text{Cu}_2\text{O}) = 144 \cdot 0.3 = 43.2 \text{ г,}$$

$$m(\text{Ag}_2\text{O}) = 84.1 - 6.5 - 11.2 - 43.2 = 23.2 \text{ г.}$$

Ответ: 23.2 г Ag_2O , 43.2 г Cu_2O , 11.2 г Si, 6.5 г Zn.

По 6 баллов на каждую навеску (реакции, массы компонентов смеси). $6 \cdot 3 = 18$.

8.2. История знает крайне ограниченное число примеров, когда человек достигал вершин в двух далёких друг от друга сферах – в науке и в искусстве. В 1872 г. российский учёный **Н** независимо от французского учёного **М** описал превращение, использующееся в органической химии для построения связи углерод-углерод. В приведённую ниже последовательность ввели 2 изомерных углеводорода **А** и **В**, содержащих 85.71% углерода по массе и имеющих плотность в парах по угарному газу, равную 2.



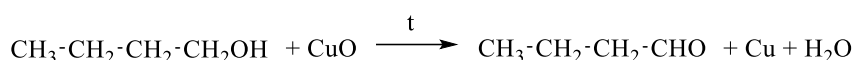
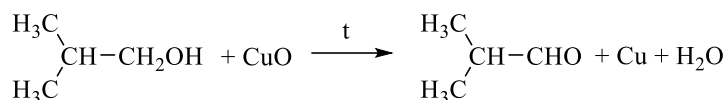
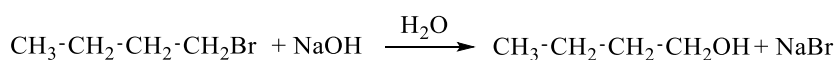
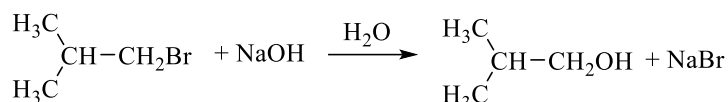
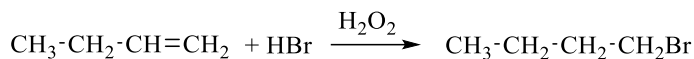
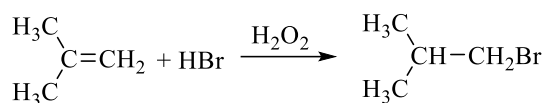
Соединения **Г** и **Н** вступают в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра, при этом соединение **И** содержит 22.22% кислорода по массе, а соединение **Ж** – в 1.75 раза меньше. Установите строение всех приведённых соединений и напишите уравнения всех упомянутых реакций. Назовите русского учёного **Н**. В какой области искусства он прославился? **(18 баллов)**

Решение. Найдём состав изомерных углеводородов **А** и **В**: $\omega(\text{C}) = 0.8571$, а $\omega(\text{H}) = 0.1429$,

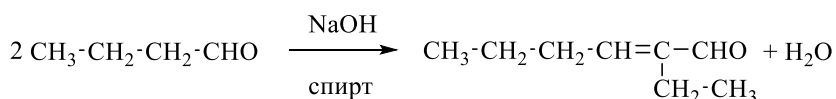
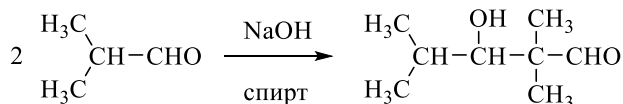
$$\text{C}_x\text{H}_y, \quad x : y = (85.71/12) : (14.29/1) = 7.143 : 14.29 = 1 : 2,$$

что соответствует простейшей формуле C_nH_{2n} (алкены или циклоалканы). Поскольку плотность данных углеводородов по угарному газу равна 2, их молярная масса составляет $M = 2 \cdot 28 = 56$ г/моль, речь идет о изомерных бутенах. Соединения **Г** и **Н** являются альдегидами, поскольку вступают в реакцию серебряного зеркала. Следовательно, изомерные алкены **А** и **В** – это изобутен и бутен-1.

Уравнения реакций:



Заключительные стадии – реакции альдольно-кетоновой конденсации альдегидов **Г** и **Н**. Поскольку в одном из продуктов массовая доля кислорода больше, чем в другом, то соединение **И** – продукт альдольной конденсации, а соединение **Ж** – кетоновой.



Массовая доля кислорода в $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$ (соединение **И**):

$$\omega(\text{O}) = 32 / 144 = 0.2222 \text{ (22.22\%)}.$$

Массовая доля кислорода в $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$ (соединение **Ж**):

$$\omega(\text{O}) = 16 / 126 = 0.1270 \text{ (12.70\%)}.$$

Отношение $22.22 / 12.70 = 1.75$ соответствует условию задачи.

Александр Порфирьевич Бородин (1833-1887) прославился как автор исторической оперы «Князь Игорь», премьера которой прошла в Мариинском театре в 1890 г. Он также является автором симфоний, концертов, квартетов и романсов. При этом Бородин не был профессиональным композитором: главным делом всей своей жизни он считал химию. Он первый, независимо от Ш.А. Вюрца, описал альдольно-кетоновую конденсацию, синтез фторангидридов органических кислот и реакцию, механизм которой был установлен спустя почти 80 лет – декарбоксилирование серебряных солей карбоновых кислот (реакция Бородина-Хунсдикера).

6 реакций по 1.5 балла, 2 реакции альдольно-кетоновой конденсации по 2 балла, расчет состава А и В – 2 балла, подтверждение состава И и Ж – 2 балла, 1 балл – информация о Бородине. Всего $6 \cdot 1.5 + 2 \cdot 2 + 2 + 2 + 1 = 18$ баллов.