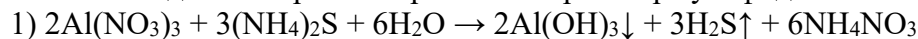


**Олимпиада школьников «Ломоносов»**  
**Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии**  
**11 классы**

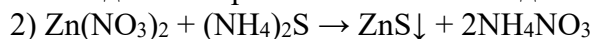
**2 вариант**

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

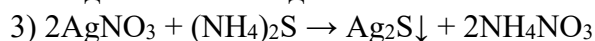
*Решение.* Один из вариантов реактива – раствор сульфида аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ :



Наблюдается образование белого осадка и выделение газа с неприятным запахом.



Выпадает белый осадок.



Выпадает черный осадок.

*Ответ:*  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ .

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

**2.5.** Пропан-бутановая смесь (моторное топливо) содержит пропан и *n*-бутан. Зимняя смесь содержит больше пропана (75 мол% пропана и 25 мол% *n*-бутана), в летней смеси пропана меньше (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 количества теплоты (в кДж/моль), которая выделится при сгорании зимней и летней смесей, сравните полученные величины.

С первичный	$\text{CH}_3$	С вторичный	$\text{CH}_2$	С третичный	$\text{CH}$	С четвертичный	$\text{C}$
	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:

$$Q_{\text{зимн}} = 2212.1 \cdot 0.75 + 2864.4 \cdot 0.25 = 2375.2 \text{ кДж/моль},$$
$$Q_{\text{летн}} = 2212.1 \cdot 0.4 + 2864.4 \cdot 0.6 = 2603.5 \text{ кДж/моль}.$$

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:*  $Q_{\text{зимн}} = 2375.2 \text{ кДж/моль}$ ,  $Q_{\text{летн}} = 2603.5 \text{ кДж/моль}$ .

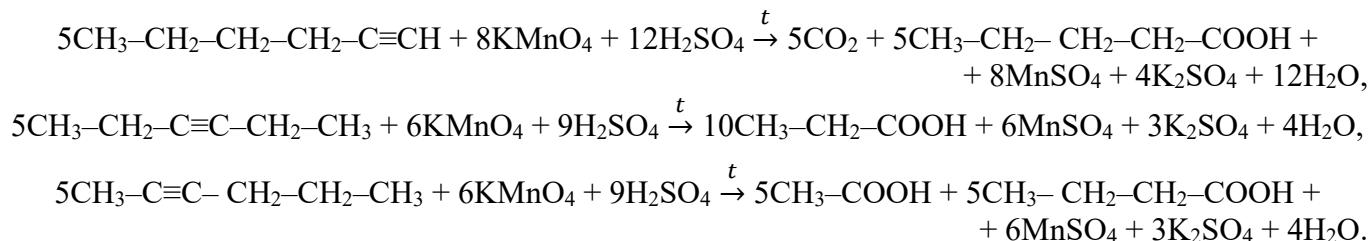
**Расчет теплот сгорания пропана и бутана – 4 балла, расчет теплот сгорания смесей – 3 балла, причина сезонной смены смеси – 1 балл. Всего 4 + 3 + 1 = 8 баллов.**

**3.5.** 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  $\text{CCl}_4$ . Далее все углеводороды одинаковой массы были обработаны подкисленным раствором перманганата калия при нагревании, на окисление **А** было израсходовано 500 мл, на окисление **В** – 200 мл, а на окисление **С** – 150 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)**

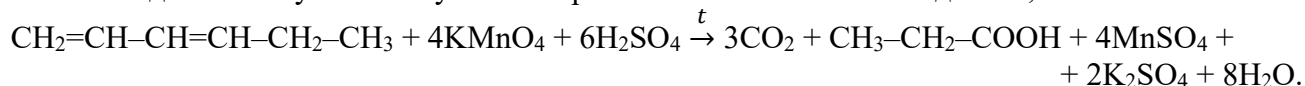
**Решение.** Найдём брутто-формулу углеводородов  $C_xH_y$  на основе данных по элементному составу:

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

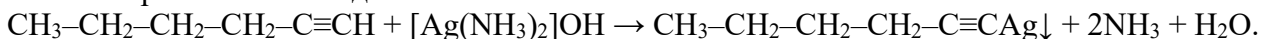
Составу  $C_6H_{10}$  может соответствовать алкин, диен или циклоалкен, но поскольку все изомеры взаимодействуют с одинаковым количеством брома, исходными углеводородами могут быть либо алкины, либо диены. Для окисления углеводорода **A** требуется значительно большее количество окислителя, следовательно, **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 2.5 раза больше окислителя по сравнению с алкином **B**, следовательно, одна молекула диена **A** должна отдавать 20 электронов и при окислении образовывать одноосновную кислоту. Таким требованиям отвечает гексадиен-1,3:



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-1,3, **B** – гексин-1, **C** – гексин 3.

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

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

В январе 2026 г. в художественный музей из частной коллекции попала картина предположительно авторства французского художника Клода Моне (1840-1926) «Сад художника в Живерни». Для проверки её подлинности был проведен радиоуглеродный анализ, который показал, что активность  $^{14}C$  в отобранных микрообразцах холста составляет 14.87 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  $^{14}C$ :

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

Подставляем численные значения величин из условия задачи:

$$\begin{aligned} 14.87 &= 15.0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}, \\ 0.9913 &= \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}. \end{aligned}$$

Логарифмируем:

$$\lg 0.9913 = \frac{t}{5730} \lg 0.5$$

и получаем значение  $t = 72$  года. Таким образом, возраст холста, на котором была написана картина, составляет 72 года. Холст можно отнести к 2026 – 72 = 1954 г., т. е. он был изготовлен через 28 лет после смерти художника. Картина, очевидно, не является подлинником. Оригинал находится в музее Орсе в Париже.

**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.**

**5.5.** Для элементарной газофазной реакции  $2A \rightarrow B + 2C$  при понижении температуры от 323 до 290 К и одновременном уменьшении объема реактора в три раза начальная скорость реакции увеличилась в два раза. Рассчитайте энергию активации этой реакции (в кДж/моль). **(14 баллов)**

*Решение.* Пусть  $c_1$  – начальная концентрация реагента А до уменьшения объема реактора, тогда  $c_2 = 3c_1$  – начальная концентрация А при уменьшении объема в 3 раза. Начальные скорости реакций до ( $v_1$ ) и после ( $v_2$ ) изменения условий различаются в 2 раза:  $2v_1 = v_2$ .

Запишем выражения для закона действующих масс для начальных скоростей:

$$\begin{aligned}v_1 &= k_1 \cdot c_1^2, \\v_2 &= k_2 \cdot (3c_1)^2, \\2k_1 \cdot c_1^2 &= k_2 \cdot 9c_1^2 \\k_1 / k_2 &= 4.5.\end{aligned}$$

Отношение констант скорости можно выразить, применив уравнение Аррениуса:

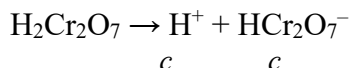
$$\begin{aligned}\ln(k_1 / k_2) &= \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \\ \ln 4.5 &= \frac{E_a}{8.314} \left( \frac{1}{290} - \frac{1}{323} \right), \\ E_a &= 35.5 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

*Ответ:* 35.5 кДж/моль.

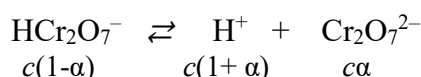
**Расчеты, связанные с влиянием концентрации реагента на скорость реакции (закон действующих масс) – 7 баллов, расчеты, связанные с влиянием температуры на скорость реакции (уравнение Аррениуса) – 7 баллов. Всего 14 баллов.**

**6.4.** Определите концентрацию и pH раствора дихромовой кислоты, в котором степень ее диссоциации по первой ступени равна 100%, а по второй – 6%. 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 ( $\alpha$  – степень диссоциации по второй ступени). Тогда концентрации ионов в равновесии:



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

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

$$c = K(1-\alpha) / (1+\alpha)\alpha = 2.3 \cdot 10^{-2} (1-0.06) / (1+0.06) \cdot 0.06 = 0.340 \text{ (моль/л)}.$$

Чтобы рассчитать pH, нужно найти равновесную концентрацию ионов водорода:

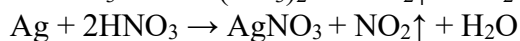
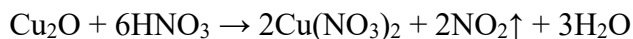
$$\begin{aligned}[\text{H}^+] &= c(1+\alpha) = 0.340(1+0.06) = 0.360 \text{ моль/л}, \\ \text{pH} &= 0.44.\end{aligned}$$

*Ответ:* 0.340 моль/л, pH = 0.44.

**Расчет концентрации кислоты – 7 баллов, расчет концентрации ионов  $\text{H}^+$  и pH – 7 баллов.**

**7.5.** Смесь содержит оксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , оксид кремния  $\text{SiO}_2$ , серебро и цинк. Одинаковые навески смеси по 103.0 г в каждой испытали на отношение к избыткам растворов азотной кислоты, щелочи и аммиака. При добавлении к навеске концентрированной азотной кислоты масса ее уменьшилась на 85 г. После обработки навески раствором гидроксида калия выделилось 4.48 л (н. у.) газа. При обработке такой же навески раствором аммиака масса ее уменьшилась на 41.8 г. Рассчитайте массу каждого вещества в навеске. Напишите уравнения всех реакций, происходящих при этих экспериментах. **(18 баллов)**

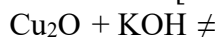
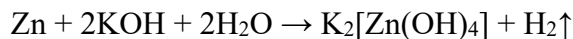
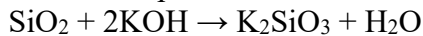
Решение. 1) При добавлении к первой навеске азотной кислоты происходят реакции:



В твердом остатке – только оксид кремния, его масса составляет

$$m(\text{SiO}_2) = 103 - 85 = 18 \text{ г.}$$

2) Раствор щелочи действует на оксид кремния и цинк:

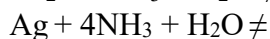
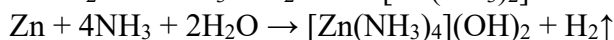
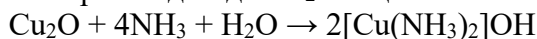


$$v(\text{H}_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Zn}) = 0.2 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Zn}) = 13 \text{ г.}$$

3) Аммиак переводит в раствор оксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  и цинк:



$$m(\text{Cu}_2\text{O}) + m(\text{Zn}) = 41.8 \text{ г,}$$

$$m(\text{Cu}_2\text{O}) = 41.8 - 13 = 28.8 \text{ г.}$$

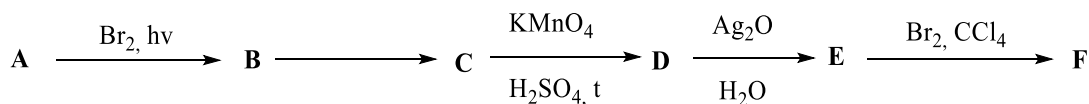
В твердом остатке массой  $(103 - 41.8) = 61.2 \text{ г}$  – серебро и оксид кремния.

$$m(\text{Ag}) = 61.2 - 18 = 43.2 \text{ г.}$$

Ответ: 28.8 г  $\text{Cu}_2\text{O}$ , 18 г  $\text{SiO}_2$ , 43.2 г  $\text{Ag}$ , 13 г  $\text{Zn}$ .

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

**8.4.** История знает крайне ограниченное число примеров, когда человек достигал вершин в двух далёких друг от друга сферах – в науке и в искусстве. В 1861 г. российский учёный **Н** описал превращение, использующееся в органической химии для построения связи углерод-галоген. Точный механизм данной реакции был установлен спустя 81 год супружеской парой немецких учёных **М**. В приведённую ниже последовательность ввели неизвестный углеводород **А**, содержащий 85.71% углерода по массе.



Соединение **Ф** содержит 79.21% брома по массе и имеет неразветвленный углеродный скелет. Установите строение всех приведённых соединений и напишите уравнения всех упомянутых реакций. Назовите русского учёного **Н**. В какой области искусства он прославился? **(18 баллов)**

Решение. Определим состав углеводорода **А**. По условию,  $\omega(\text{C}) = 0.8571$ , значит,  $\omega(\text{H}) = 0.1429$ .

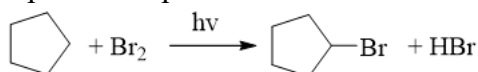
$$\text{C}_x\text{H}_y, x : y = (85.71/12) : (14.29/1) = 7.143 : 14.29 = 1 : 2,$$

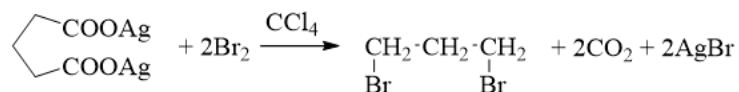
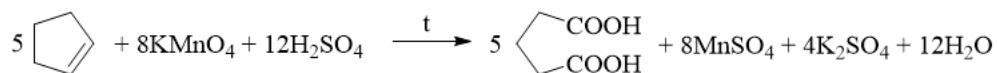
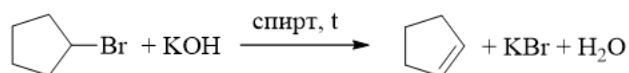
простейшая формула  $\text{CH}_2$ , что соответствует алкенам или циклоалканам. Поскольку цепь превращений начинается радикальное бромирование, можно предположить, что **А** – циклоалкан, **В** – бромциклоалкан, а **С** и **В** – это циклоалкен и дикарбоновая кислота соответственно. Соединение **Ф** – продукт двойного декарбоксилирования серебряной соли дикарбоновой кислоты **Е**. Следовательно **Ф** – дибромалкан и выражение для массовой доли брома в нем имеет вид

$$\omega(\text{Br}) = 160 / (14n + 160) = 0.7921,$$

откуда  $n = 3$ , соединение **Ф** – 1,3-дибромпропан, а исходный циклоалкан **А** – это циклопентан.

Уравнения реакций:





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).

**4 реакции по 2.5 балла, реакция Бородина - 3 балла, расчет состава А – 2 балла, расчет доли брома в F – 2 балла, 1 балл – информация о Бородине.**