

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии 11 класс  
2021-2022 учебный год**

Общее время выполнения работы – 5 часов.

Общие указания: если в задаче требуются расчёты, они обязательно должны быть приведены в решении. Ответ, приведённый без расчётов или иного обоснования, не засчитывается. Используйте Периодическую таблицу химических элементов, таблицу растворимости и непрограммируемый калькулятор.

**Максимальное количество баллов – 60 баллов**

**Задание 11-1. (10 баллов)**

Образец смеси газообразных алкана и алкена неизвестного состава объемом 11,2 л (н.у.) полностью обесцветил 1000 г бромной воды (массовая доля брома 3,2%). При этом образовалось 21 мл тяжелой жидкости с плотностью 1,924 г/мл. Газ, не поглотившийся бромной водой, был сожжен в избытке кислорода. Образовавшийся при сжигании углекислый газ полностью прореагировал с 300 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 3 моль/л, причем полученный в результате реакции раствор не способен больше химически связывать углекислый газ. Установите формулы исходных углеводородов и их объемные доли в смеси.

**Решение:**

<b>Содержание верного ответа и указания по оцениванию</b> (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	<b>Баллы</b>
1. Уравнение реакции: $C_nH_{2n} + Br_2 = C_nH_{2n} Br_2$	<b>1</b>
2. Раствор брома содержал $1000 \cdot 0,032 = 32$ г, или $32/160 = 0,2$ моль брома, которые прореагировали с 0,2 моль алкена, дав 0,2 моль дибромалкана	<b>1</b>
3. Масса полученного дибромалкана равна $21 \cdot 1,924 = 40,4$ г, а его молярная масса составляет $40,4/0,2 = 202$ г/моль. Тогда молярная масса алкена $202 - 160 = 42$ г/моль. Этот алкен – пропен $C_3H_6$ .	<b>2</b>
4. Поскольку исходная смесь содержала $11,2/22,4 = 0,5$ моль газов, то объемная доля пропена равна $0,2/0,5 = 0,4$ , или 40%.	<b>1</b>
5. Составлено уравнение реакции: $KOH + CO_2 = KHSO_3$ $C_nH_{2n+2} + (1,5n + 0,5)O_2 = nCO_2 + (n + 1)H_2O$	<b>1</b> <b>1</b>
6. Рассчитаны количества веществ: $n(KOH) = 300 \text{ мл} \cdot 0,3 = 0,9$ моль; $n(KOH) = n(CO_2) = 0,9$ моль Алкана в исходной смеси было $0,5 - 0,2 = 0,3$ моль, и при его сгорании образовалось 0,9 моль $CO_2$ .	<b>1</b> <b>1</b>
7. Определена формула алкана 1 моль алкана - n моль $CO_2$ 0,3 моль алкана – 0,9 моль $CO_2$ Очевидно, что $n = 3$ , и искомым алкан – пропан $C_3H_8$ с объемной долей $100\% - 40\% = 60\%$	<b>1</b>
<b>Максимальный балл</b>	<b>10</b>

**Задание 11-2. (8 баллов)**

Какие из перечисленных ниже веществ реагируют с  $K_2Cr_2O_7$ :  $HCl$ ,  $KOH$ ,  $KNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $CH_4$ ,  $CH_3CH_2OH$ ? Напишите уравнения пяти реакций и укажите условия их

протекания. Для окислительно-восстановительных реакций составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель.

**Решение:**

<b>Критерии оценки правильного ответа</b> (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	<b>Баллы</b>
$14 \text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow 3 \text{Cl}_2 \uparrow + 2 \text{CrCl}_3 + 2 \text{KCl} + 7 \text{H}_2\text{O}$ <p>1) Составлен электронный баланс:</p> $\begin{array}{l l} \overset{+6}{2\text{Cr}} + 6\bar{e} \rightarrow \overset{+3}{2\text{Cr}} & 1 \\ \overset{-1}{2\text{Cl}} - 2\bar{e} \rightarrow \overset{0}{\text{I}_2} & 3 \end{array}$ <p>2) Расставлены коэффициенты в уравнении реакции:</p> <p>3) Указано, что Cr в степени окисления +6 является окислителем, а Cl в степени окисления -1 – восстановителем.</p>	<p><b>1</b></p> <p><b>1</b></p>
$2 \text{KOH} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow 2 \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	<b>1</b>
$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц)} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (тв)} \xrightarrow{t^\circ} 2 \text{CrO}_3 \downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	<b>1</b>
$3 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t^\circ} 3 \text{CH}_3\text{CHO} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$ <p>1) Составлен электронный баланс:</p> $\begin{array}{l l} \overset{+5}{2\text{Cr}} + 6\bar{e} \rightarrow \overset{0}{2\text{Cr}} & 1 \\ \overset{-1}{\text{C}} - 2\bar{e} \rightarrow \overset{+1}{\text{C}} & 3 \end{array}$ <p>2) Расставлены коэффициенты в уравнении реакции:</p> <p>3) Указано, что Cr в степени окисления +6 является окислителем, а углерод в степени окисления -1 – восстановителем.</p>	<p><b>1</b></p> <p><b>1</b></p>
$3 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 8 \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{0^\circ} 3 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 2 \text{K}_2\text{SO}_4 + 11 \text{H}_2\text{O}$ <p>1) Составлен электронный баланс:</p> $\begin{array}{l l} \overset{+6}{2\text{Cr}} + 6\bar{e} \rightarrow \overset{+3}{2\text{Cr}} & 2 \\ \overset{-1}{\text{C}} - 4\bar{e} \rightarrow \overset{+3}{\text{C}} & 3 \end{array}$ <p>2) Расставлены коэффициенты в уравнении реакции:</p> <p>3) Указано, что Cr в степени окисления +6 является окислителем, а C в степени окисления -1 – восстановителем.</p>	<p><b>1</b></p> <p><b>1</b></p>
<b>Максимальный балл</b>	<b>8</b>

### Задание 11-3. (16 баллов)

1. Элемент X, который образует соединения во многих степенях окисления, может быть получен в виде простого вещества при прокаливании в электрической печи кальциевой соли, содержащей этот элемент, с коксом и кварцевым песком.

Образующиеся при этом пары элемента X конденсируются при пропускании их через воду, образуя реакционноспособную аллотропную модификацию.

2. Наиболее важное из соединений элемента X с водородом образуется при действии X на крепкие растворы щелочей. В этих реакциях данное простое вещество диспропорционирует с образованием соединений в степенях окисления  $-3$  и  $+1$ . Полученное водородное соединение обладает характерным запахом.

3. Простое вещество X сгорает в хлоре, окисляясь до степени окисления  $+3$ , причем образующееся хлорпроизводное гидролизуется в присутствии влаги.

4. Полученное при хлорировании соединение может окисляться при нагревании в атмосфере хлора дальше.

5. Элемент X образует ряд кислородсодержащих кислот, в которых он обладает различными степенями окисления и степенями гидратации оксида X.

6. Ангидрид  $X_2O_5$  образуется непосредственно при сгорании простого вещества X, однако орто-кислоту получают не при реакции этого оксида с водой, а при взаимодействии кальциевой соли с серной кислотой.

7. Существует ряд солей (например, натриевых), соответствующих замене одного, двух или трех атомов водорода в орто-кислоте на металл. Их водные растворы при равной концентрации солей обладают различной кислотностью (с различными концентрациями в них ионов водорода).

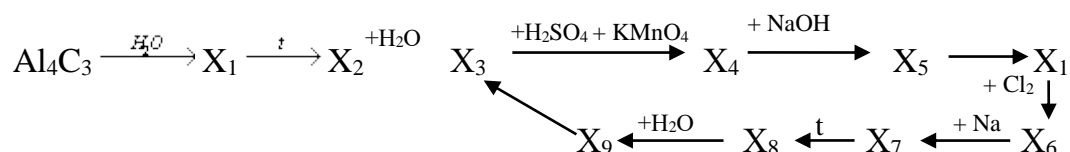
Установите, о каком элементе идет речь. Объясните процессы, упомянутые в условиях задачи. Напишите формулы веществ и уравнения реакций, названных в задаче. При ответе на пункт 7 охарактеризуйте кислотность растворов натриевых солей.

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
1) Фосфор получают прокаливанием фосфорита с песком и углем: $Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 = 3CaSiO_3 + 5CO + 2P$ или $2Ca_3(PO_4)_2 + 10C + 6SiO_2 = 6CaSiO_3 + 10CO + P_4$ Пары фосфора конденсируются, и расплавленный фосфор кристаллизуется с образованием кристаллической аллотропной $\alpha$ -модификации белого фосфора.	1
2) $P_4 + 3KOH + 3H_2O = PH_3 + 3KH_2PO_2$	1
3) $P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3$ $PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$ $PCl_3$ «дымит» на воздухе, поскольку его пары гидролизуются парами воды с образованием тумана $H_3PO_3$ и $HCl$ .	0,5 1 0,5
4) $PCl_3 + Cl_2 = PCl_5$ $PCl_5 + H_2O = POCl_3 + 2HCl$ или $PCl_5 + 4H_2O = H_3PO_4 + 5HCl$	0,5 1
5) Существует ряд кислородсодержащих кислот фосфора: $H_3PO_2$ фосфорноватистая; $H_3PO_4$ ортофосфорная; $H_3PO_3$ ортофосфористая; $H_4P_2O_7$ дифосфорная (пирофосфорная); $H_4P_2O_5$ дифосфористая; $HPO_2$ метафосфористая; $HPO_3$ метафосфорная; $H_4P_2O_6$ фосфорноватая. (8 б - 0,5 за каждую формулу и 0,5 за каждое название)	8
6) $4P + 5O_2 = 2P_2O_5$ $Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 3CaSO_4 + 2H_3PO_4$	0,5 1
7) $NaH_2PO_4 \rightarrow Na_2HPO_4 \rightarrow Na_3PO_4$ слабокислая среда $\rightarrow$ щелочная среда	1

**Задание 11-4. (11 баллов)**

Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений:



**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
$\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + 4\text{Al}(\text{OH})_3$	1
$2\text{CH}_4 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$	1
$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COH}$	1
$5\text{CH}_3\text{COH} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 5\text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	1
$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$	1
$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	1
$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$	1
$2\text{CH}_3\text{Cl} + 2\text{Na} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + 2\text{NaCl}$	1
$\text{C}_2\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	1
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	1
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CuO} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COH} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	1
<b>Максимальный балл</b>	<b>11</b>

**Задание 11-5. (10 баллов)**

Смесь калия и алюминия массой 18,3 г залили некоторое количество воды. Содержания калия в смеси в 4 раз больше, чем алюминия. При этом выделился газ. Через полученный раствор пропустили углекислый газ. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси и объём выделившегося газа. Какой максимальный объём углекислого газа потребуется добавить к полученному раствору. Рассчитайте массу осадка.

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
1) $2\text{K} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{KOH} + \text{H}_2\uparrow$ $2\text{Al} + 2\text{KOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2\uparrow$	2
2) Обозначим количество алюминия за $x$ моль, тогда количество калия - $40x$ моль Тогда $m_{(\text{смеси})} = m(\text{K}) + m(\text{Al}) = 4x \cdot M(\text{K}) + x \cdot M(\text{Al}) = 4x \cdot 39 + 27x = 183x$ отсюда $x = n(\text{Al}) = 0,1$ моль, $n(\text{K}) = 0,4$ моль	2
3) Массовые доли металлов в смеси: $w(\text{Al}) = m(\text{Al}) / m_{(\text{смеси})} = 27 \cdot 0,1 / 18,3 = 0,1475$ (14,75%) $w(\text{K}) = 0,8525$ (85,25%)	1
4) Количество выделившегося водорода: $n(\text{H}_2) = 0,2 + 0,15 = 0,35$ моль	2

его объем: $V(\text{H}_2) = 0,35 \cdot 22,4 = 7,84$ л	
5) $\text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{KHCO}_3$ $n(\text{CO}_2) = n(\text{KOH}) = n(\text{K}) = 0,4$ моль; $\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2 \rightarrow \text{KHCO}_3 + \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ $n(\text{CO}_2) = n(\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = n(\text{Al}) = 0,1$ моль;	<b>2</b>
6) $n(\text{CO}_2) = 0,5$ моль; $V(\text{CO}_2) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2$ л	<b>1</b>
<b>Максимальный балл</b>	<b>10</b>

### Задание 11-6 (5 баллов)

При взаимодействии газообразных сероводорода и оксида углерода (IV) образуются пары воды и сульфида углерода (IV). Составьте термохимическое уравнение реакции, вычислив её тепловой эффект. Укажите какая это реакция экзотермическая или эндотермическая.  $Q_{\text{обр. H}_2\text{S}} = 20,15$  кДж/моль;  $Q_{\text{обр. CO}_2} = 393,51$  кДж/моль;  $Q_{\text{обр. H}_2\text{O}} = 241,88$  кДж/моль;  $Q_{\text{обр. CS}_2} = -115,28$  кДж/моль; Определите энтальпию реакции.

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
1) Составлено уравнение реакции: $2\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 = \text{CS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	<b>1</b>
2) Вычисляем тепловой эффект реакции, используя следствие из закона Гесса: $Q_{\text{хим. р-ции}} = (Q_{\text{обр. CS}_2} + 2Q_{\text{обр. H}_2\text{O}}) - (2Q_{\text{обр. H}_2\text{S}} + Q_{\text{обр. CO}_2}) = (-115,28 + 2 \cdot 241,88) - (2 \cdot 20,15 + 393,51) = -47,33$	<b>2</b>
3) так как тепловой эффект реакции отрицательный, реакция эндотермическая, то есть протекает с поглощением теплоты, энтальпия реакции положительная и равна +47,33	<b>1</b>
4) Термохимическое уравнение реакции: $2\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 = \text{CS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} - 47,33$ или $\Delta H^0 = +47,33$	<b>1</b>
Всего баллов	<b>5</b>