

## Заключительный этап, 10-11 классы

### Вариант 1

**1.5.** Приведите пример реакции, среди продуктов которой – сразу два газа. (4 балла)

*Ответ:*  $C + 2H_2SO_4(\text{конц}) \rightarrow CO_2\uparrow + 2SO_2\uparrow + 2H_2O$ .

**2.2.** Плотность по гелию эквимольярной смеси трех газов при н. у. равна 10. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? (6 баллов)

*Решение.* Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$D_{He} = M_{cp} / M(He); \quad 10 = M_{cp} / 4$$

$$M_{cp} = 40 \text{ г/моль.}$$

$$M_{cp} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{cp} = 0.333(M_1 + M_2 + M_3)$$

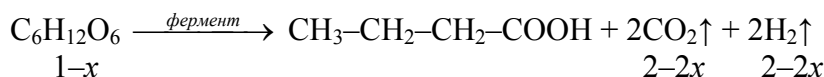
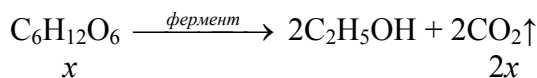
$$M_1 + M_2 + M_3 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н. у.). Это могут быть, например, Ne (20 г/моль),  $C_3H_8$  (44 г/моль) и  $C_4H_8$  (56 г/моль).

*Ответ:* например, Ne,  $C_3H_8$  и  $C_4H_8$ .

**3.5.** Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида кальция ее объем уменьшился в 5 раз. Какая часть глюкозы превратилась в масляную кислоту? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

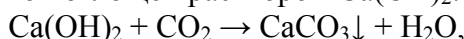
*Решение.* Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ полностью поглощен раствором  $Ca(OH)_2$ :



а водород остался. Объем водорода по условию составил пятую часть объема смеси:

$$\varphi(H_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{5}$$

Отсюда получаем  $x = 0.75$ . Значит, в реакцию маслянокислого брожения вступило  $100 - 75 = 25\%$  глюкозы.

*Ответ:* 25%.

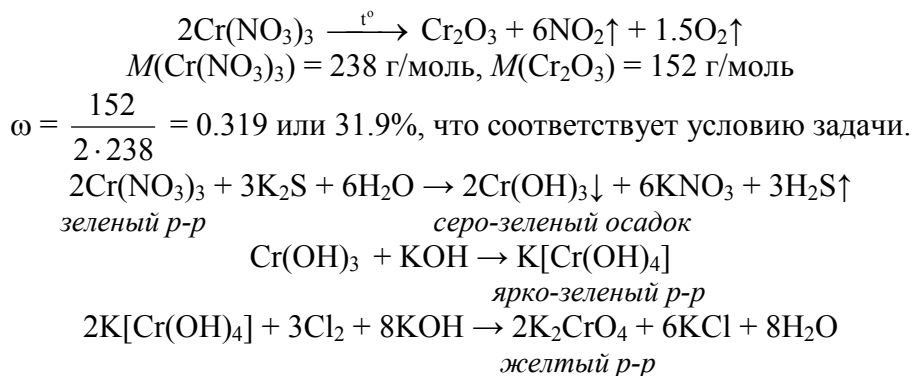
**4.4.** При растворении безводной соли **A** в воде образовался зеленый раствор. Добавление раствора сульфида калия привело к выпадению серо-зеленого осадка, легко растворившегося затем в избытке водного раствора гидроксида калия. Пропускание хлора через образовавшийся ярко-зеленый раствор привело к изменению цвета раствора на желтый. После прокаливании **A** при  $200^\circ C$  образовался твердый остаток, масса которого составила 31.9% от массы исходного вещества. Установите соль **A**, напишите уравнения всех реакций.

(12 баллов)

*Решение.* Можно предположить, что вещество **A** – растворимая в воде соль хрома(III). При взаимодействии с сульфидом калия из ее раствора выпадает серо-зеленый осадок гидроксида хрома(III), легко растворяющийся в водном растворе гидроксида калия.

Пропускание хлора через образовавшийся щелочной раствор приводит к окислению хрома(III) и образованию желтого раствора, содержащего хромат-ионы.

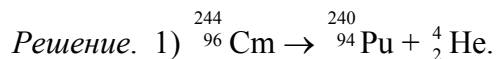
Расчетом можно показать, что соль **A** – нитрат хрома:



*Ответ:* соль **A** –  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ .

**5.4.** Оксид одного из долгоживущих изотопов кюрия,  $^{244}\text{CmO}_2$ , является «ядерным топливом» в радиоизотопных электрогенераторах – устройствах, преобразующих кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц в тепловую и затем – в электрическую энергию. В генератор поместили 966 г  $^{244}\text{CmO}_2$ , и за три года его тепловая мощность уменьшилась с 2386 до 2126 Вт (1 Вт = 1 Дж/с).

- 1) Запишите уравнение  $\alpha$ -распада кюрия-244.
- 2) Определите период полураспада  $^{244}\text{Cm}$ .
- 3) Рассчитайте среднюю кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц, образующихся при распаде радионуклида, в единицах электрон-вольт (1 Дж =  $6.242 \cdot 10^{18}$  эВ). При расчете примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию. **(12 баллов)**



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы  $m(t)$  радионуклида в момент времени  $t$  с начальной массой  $m_0$

$$m(t) = m_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

К моменту  $t$  мощность уменьшилась с 2386 до 2126 Вт:

$$\frac{m(t)}{m_0} = \frac{2126}{2386} = 0.891 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{3}{t_{1/2}}}$$

$$\lg 0.891 = \frac{3}{t_{1/2}} \lg 0.5$$

$$t_{1/2} = 18.0 \text{ лет.}$$

3) Тепловая мощность  $P$  генератора пропорциональна скорости распада (активности)  $A$ . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где  $N$  – число имеющих в данный момент ядер, а  $\lambda$  – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада  $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{18 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.22 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}.$$

$$M(^{244}\text{CmO}_2) = 276 \text{ г/моль};$$

$$\nu(^{244}\text{CmO}_2) = 966 / 276 = 3.5 \text{ моль},$$

Число ядер кюрия-244:

$$N = \nu \cdot N_A = 3.5 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 21.07 \cdot 10^{23}$$

Начальная тепловая мощность генератора равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 2386 \text{ Вт},$$

Отсюда кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы равна

$$E = \frac{P}{\lambda \cdot N} = \frac{2386}{1.22 \cdot 10^{-9} \cdot 21.07 \cdot 10^{23}} = 9.28 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 5.79 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

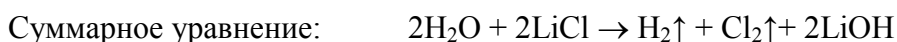
Ответ: 18 лет;  $5.79 \cdot 10^6$  эВ.

**6.1.** Водный 2.4%-ный раствор хлорида лития объемом 600 мл подвергли электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 1.43 А в течение 12 минут. Рассчитайте pH раствора после окончания электролиза. Примите, что в ходе электролиза объем раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

*Решение.* Запишем уравнения процессов на электродах, а также полное уравнение электролиза:



↕



По закону Фарадея 
$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F}$$

отсюда

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{n \cdot F}.$$

Из уравнения катодного процесса видно, что для получения 1 моль ионов  $\text{OH}^-$  требуется 1 моль электронов, т. е.  $n = 1$ . Тогда

$$\nu(\text{OH}^-) = \frac{I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{1.43 \cdot 12 \cdot 60}{1 \cdot 96500} = 0.0107 \text{ моль}.$$

Найдем молярную концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  в растворе:

$$[\text{OH}^-] = \nu(\text{OH}^-) / V(\text{р-ра}) = 0.0107 / 0.6 = 0.0178 \text{ моль/л}$$

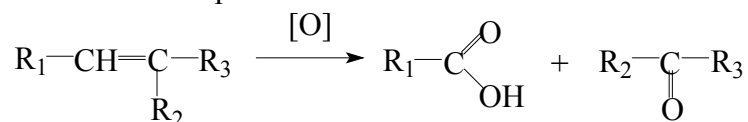
$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = 1.75$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1.75 = 12.25.$$

Ответ: pH 12.25.

**7.2.** При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 11.1 г карбоновой кислоты **B** и 10.8 г кетона **B** (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объем раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

*Решение.* Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

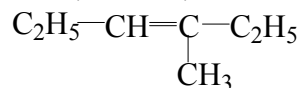


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{11.1}{M_1 + 45} = \frac{10.8}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду  $1.0278(M_2 + M_3) - M_1 = 16.223$ .

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать только определенные значения ( $\text{CH}_3 - 15$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$  и т.д.). Тожество получается при значениях  $M_1 = 29$ ,  $M_2 = 15$  и  $M_3 = 29$ , значит, алкен **A** имел следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ , а кетон **B** – формулу  $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$ . Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

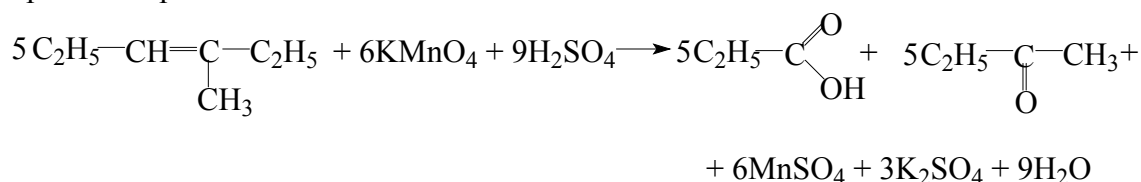
$$\frac{11.1}{14n + 32} = \frac{10.8}{14m + 16}.$$

Выразим  $m$  через  $n$ :

$$m = \frac{151.2n + 168}{155.4}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения  $n = 3$ ,  $m = 4$ , т.е. кислота  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$  (пропионовая), кетон  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$  (бутанон).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной пропионовой кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{B}) = \frac{m}{M} = \frac{11.1}{74} = 0.15 \text{ моль (75\%)},$$

$$v(\mathbf{A}) = 0.15 / 0.75 = 0.2 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{A}) = 0.2 \cdot 98 = 19.6 \text{ г.}$$

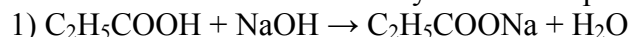
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\mathbf{A}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.24 \cdot 158 = 37.92 \text{ г,}$$

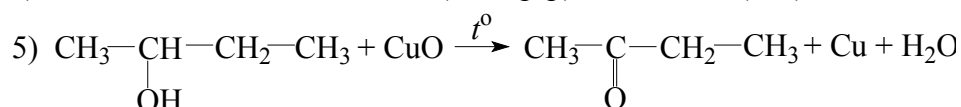
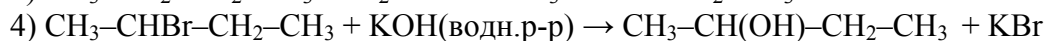
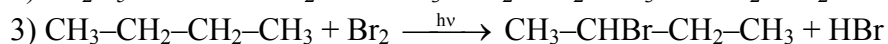
$$m(\text{p-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 379.2 / 1.1 = 344.7 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза бутанона из пропионовой кислоты:



↯

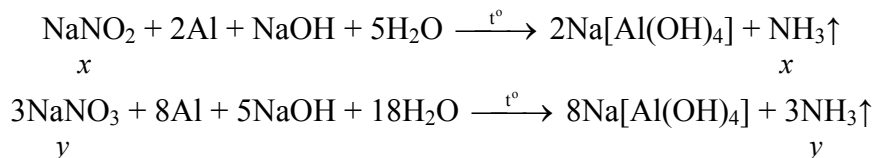


Ответ: **A** – 3-метилгексен-3, **B** – пропионовая кислота, **B** – бутанон; 19.6 г; 344.7 мл.

**8.6.** Смесь кристаллических нитрита и нитрата натрия обработали избытком концентрированного раствора гидроксида натрия в присутствии алюминия при нагревании, при этом выделилось 4.941 л газа **X** (1 атм, 28°C). Прокаливание при 500°C такого же количества исходной смеси солей привело к выделению 1.235 л газа **Y** (1 атм, 28°C). Определите газы **X** и **Y**, а также массы солей в исходной смеси. Остаток после прокалывания обработали избытком раствора иодида натрия, подкисленного серной кислотой. Какой объем

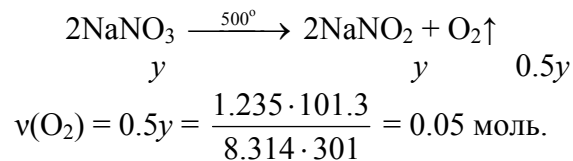
раствора тиосульфата натрия с концентрацией 0.3 моль/л потребуется для полного обесцвечивания образовавшегося раствора? Напишите уравнения всех упомянутых реакций. (20 баллов)

*Решение.* Обозначим количества вещества нитрита и нитрата натрия за  $x$  и  $y$  моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с концентрированной щелочью в присутствии алюминия при нагревании образуется аммиак (газ X):



$$v(\text{NH}_3) = x + y = \frac{4.941 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 301} = 0.2 \text{ моль.}$$

При прокаливании смеси солей разлагается нитрат натрия, выделяется кислород (газ Y):

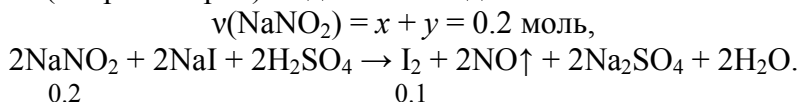


Отсюда  $y = 0.1$  моль,  $x = 0.1$  моль. Массы солей в исходной смеси:

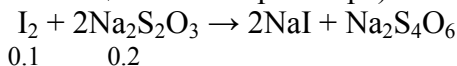
$$m(\text{NaNO}_2) = 0.1 \cdot 69 = 6.9 \text{ г,}$$

$$m(\text{NaNO}_3) = 0.1 \cdot 85 = 8.5 \text{ г.}$$

При добавлении подкисленной серной кислотой раствора иодида натрия к остатку после прокаливания (нитрит натрия) выделяется иод:



Из-за выделения иода раствор приобретает темную окраску. Тиосульфат натрия реагирует с иодом (происходит обесцвечивание раствора):



Значит, раствора тиосульфата натрия потребуется

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.2 / 0.3 = 0.667 \text{ л.}$$

*Ответ:* X – NH<sub>3</sub>, Y – O<sub>2</sub>; 6.9 г NaNO<sub>2</sub> и 8.5 г NaNO<sub>3</sub>; 0.667 л.

## Вариант 2

1.1. Приведите пример реакции, в ходе которой образуются сразу две нерастворимые соли. (4 балла)

*Ответ:* Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + Ba(OH)<sub>2</sub> → CaCO<sub>3</sub>↓ + BaCO<sub>3</sub>↓ + 2H<sub>2</sub>O.

2.1. Плотность по водороду эквимолярной смеси трех газов при н. у. равна 19. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? (6 баллов)

*Решение.* Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$\begin{array}{c} D_{\text{H}_2} = M_{\text{ср}} / M(\text{H}_2); \quad 19 = M_{\text{ср}} / 2 \\ M_{\text{ср}} = 38 \text{ г/моль.} \end{array}$$

$$M_{\text{ср}} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{\text{ср}} = 0.3333(M_1 + M_2 + M_3)$$

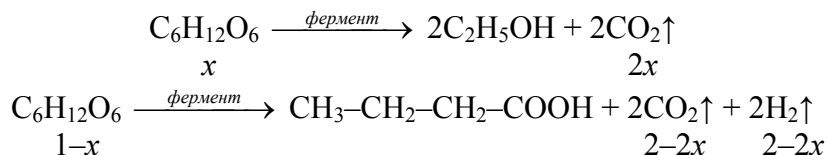
$$M_1 + M_2 + M_3 = 38 \cdot 3 = 114 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например, CO<sub>2</sub> (44 г/моль), N<sub>2</sub> (28 г/моль) и C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (42 г/моль).

*Ответ:* например, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>.

**3.6.** Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида бария ее объем уменьшился в 6 раз. Какая часть глюкозы превратилась в этанол? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

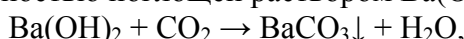
*Решение.* Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ был полностью поглощен раствором  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ :



а водород остался. Объем водорода по условию составил шестую часть объема смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{6}$$

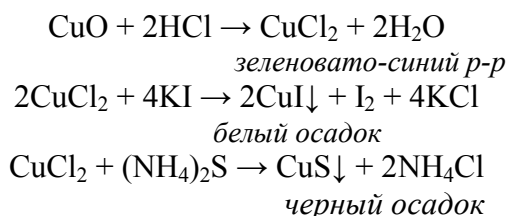
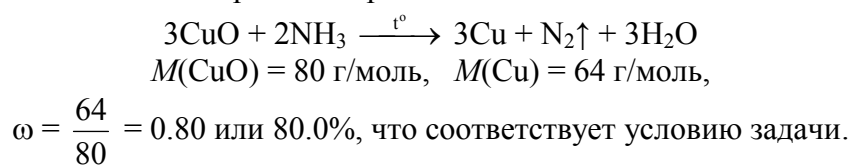
Отсюда получаем  $x = 0.8$ . Значит, в реакцию спиртового брожения вступило 80% глюкозы.

*Ответ:* 80%.

**4.6.** Не растворимый в воде оксид **A** черного цвета растворили при нагревании в соляной кислоте, при этом образовался зеленовато-синий раствор. Добавление к полученному раствору раствора иодида калия приводит к выпадению белого осадка, а добавление сульфида аммония – к выпадению черного осадка. После пропускания тока газообразного аммиака над оксидом **A** при  $550^\circ\text{C}$  образовался твердый остаток, масса которого составила 80.0% от массы исходного вещества. Установите оксид **A**, напишите уравнения всех реакций. (12 баллов)

*Решение.* Можно предположить, что вещество **A** – оксид меди(II). На это указывает его цвет, растворимость в соляной кислоте, а также цвет образующихся растворов и осадков.

Это предположение подтверждается расчетом:



*Ответ:* оксид **A** –  $\text{CuO}$ .

**5.1.** Радиоизотопные термоэлектрогенераторы – устройства, преобразующие тепловую энергию, выделяющуюся при радиоактивном распаде, в электроэнергию. Генераторы на основе долгоживущих радионуклидов используются в качестве автономного источника энергии в космических аппаратах. Период полураспада  $^{244}\text{Cm}$  равен 18 лет. Каждое ядро  $^{244}\text{Cm}$  при распаде испускает одну  $\alpha$ -частицу со средней кинетической энергией  $5.79 \cdot 10^6$  электрон-вольт (1 эВ =  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Дж).

- 1) Запишите уравнение  $\alpha$ -распада  $^{244}\text{Cm}$ .  
 2) Определите, за какое время мощность генератора уменьшится от 1200 до 1020 Вт.  
 3) Рассчитайте массу  $^{244}\text{CmO}_2$ , способную генерировать 1200 Вт тепла (1 Вт = 1 Дж/с).  
 Примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию.  
**(12 баллов)**



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы  $m(t)$  радионуклида в момент времени  $t$  с начальной массой  $m_0$

$$m(t) = m_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{m(t)}{m_0} = \frac{1020}{1200} = 0.85 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{18}}$$

$$\lg 0.85 = \frac{t}{18} \lg 0.5$$

$$t = 4.22 \text{ лет.}$$

3) Выразим энергию  $\alpha$ -частицы в джоулях:

$$E = 5.79 \cdot 10^6 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} = 9.276 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Тепловая мощность  $P$  генератора пропорциональна скорости распада (активности)  $A$ . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где  $N$  – число имеющихся в данный момент ядер, а  $\lambda$  – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада  $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{18 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.221 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}.$$

$$P = E \cdot \lambda \cdot N,$$

$$N = \frac{P}{E \cdot \lambda} = \frac{1200}{9.276 \cdot 10^{-13} \cdot 1.221 \cdot 10^{-9}} = 10.595 \cdot 10^{23}$$

$$v(^{244}\text{Cm}) = N / N_A = 10.595 \cdot 10^{23} / 6.02 \cdot 10^{23} = 1.760 \text{ моль,}$$

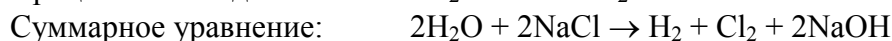
$$M(^{244}\text{CmO}_2) = 276 \text{ г/моль,}$$

$$m(^{244}\text{CmO}_2) = v \cdot M = 1.76 \cdot 276 = 485.8 \text{ г.}$$

*Ответ:* 4.22 лет, 485.8 г.

**6.2.** Водный 3.6%-ный раствор хлорида натрия объёмом 900 мл подвергали электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока в течение 15 минут. Рассчитайте силу тока, используемого для электролиза, если pH конечного раствора равен 12.5. Примите, что в ходе электролиза объём раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

*Решение.* Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора NaCl, а также полное уравнение электролиза:



Из значения pH раствора находим концентрацию ионов  $\text{OH}^-$ :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.5 = 1.5$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.5} = 0.0316 \text{ моль/л}$$

Количество  $\text{OH}^-$  в растворе:

$$v(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.0316 \cdot 0.9 = 0.0284 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$I = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot t} = \frac{v \cdot n \cdot F}{t}$$

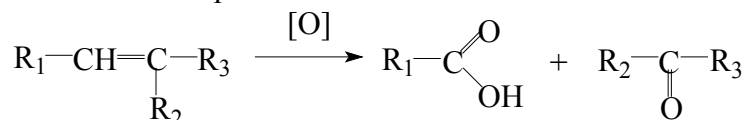
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов  $\text{OH}^-$  требуется 1 моль электронов, т. е.  $n = 1$ . Тогда

$$I = \frac{v \cdot n \cdot F}{t} = \frac{0.0284 \cdot 1 \cdot 96485}{15 \cdot 60} = 3.04 \text{ А.}$$

Ответ: 3.04 А.

**7.4.** При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 10.56 г карбоновой кислоты **B** неразветвленного строения и 10.32 г кетона **B** симметричного строения (выход реакции составил 80%). Молярная масса кислоты **B** превышает 70 г/моль. Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объем раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

*Решение.* Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

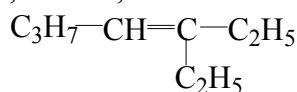


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{10.56}{M_1 + 45} = \frac{10.32}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду  $1.023(M_2 + M_3) - M_1 = 16.349$ .

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ( $\text{CH}_3 - 15$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$  и т.д.). Тожество получается при значениях  $M_1 = 43$ ,  $M_2 = M_3 = 29$ , значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Условия задачи полностью соблюдены: кетон (пентанон) будет иметь симметричную структуру, кислота – неразветвленного строения, ее молярная масса превышает 70 г/моль.

Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ , а кетон **B** – формулу  $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$ . Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

$$\frac{10.56}{14n + 32} = \frac{10.32}{14m + 16}.$$

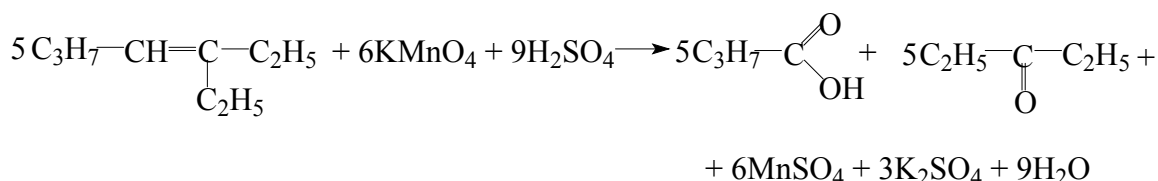
Выразим  $m$  через  $n$ :

$$m = \frac{144.48n + 161.28}{147.84}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения  $n = 4$ ,  $m = 5$ , т.е. кислота  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  (бутановая), кетон  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$  (пентанон). Надо отметить, что близкие к целочисленным пары значений  $n = 2$ ,  $m = 3.04$  и  $n = 3$ ,  $m = 4.02$  не удовлетворяют условиям задачи (при  $n = 2$  кислота имеет молярную массу меньше 70 г/моль, при  $m = 4$  кетон не будет симметричным).

Уравнение реакции окисления алкена:





Определим количество полученной бутановой кислоты **Б** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{Б}) = \frac{m}{M} = \frac{10.56}{88} = 0.12 \text{ моль (80\%)},$$

$$v(\mathbf{А}) = 0.12 / 0.8 = 0.15 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{А}) = 0.15 \cdot 126 = 18.9 \text{ г.}$$

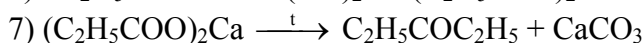
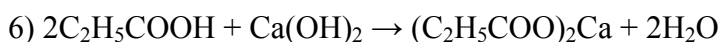
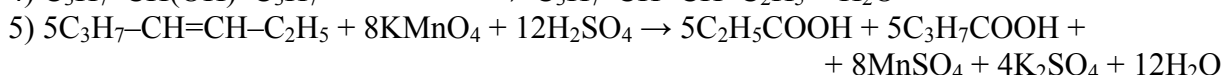
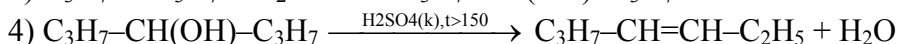
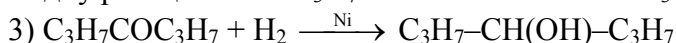
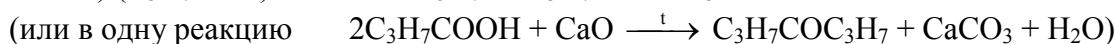
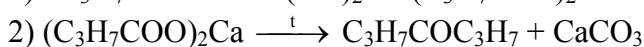
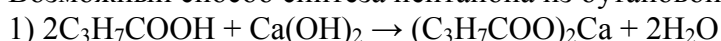
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\mathbf{А}) \cdot 6 / 5 = 0.18 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.18 \cdot 158 = 28.44 \text{ г,}$$

$$m(\text{p-ра}) = 28.44 / 0.1 = 284.4 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 284.4 / 1.1 = 258.5 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза пентанона из бутановой кислоты:



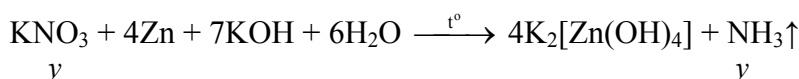
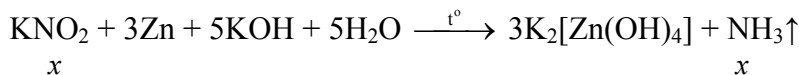
(или снова в одну реакцию с оксидом кальция или бария).

*Ответ:* **А** – 3-этилгептен-3, **Б** – бутановая кислота, **В** – пентанон-3; 18.9 г; 258.5 мл.

**8.2.** При обработке смеси кристаллических нитрита и нитрата калия избытком концентрированного раствора гидроксида калия в присутствии цинка при нагревании выделилось 7.212 л газа **X** (1 атм, 20°C). Такое же количество исходной смеси солей прокалили при 500°C, что привело к выделению 1.202 л газа **Y** (1 атм, 20°C). Определите газы **X** и **Y**, рассчитайте массы солей в исходной смеси. Остаток после прокаливания

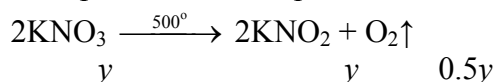
(20 баллов)

*Решение.* Обозначим количества вещества нитрита и нитрата калия за  $x$  и  $y$  моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с концентрированной щелочью в присутствии цинка при нагревании образуется аммиак (газ **X**):



$$v(\text{NH}_3) = x + y = \frac{7.212 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.3 \text{ (моль).}$$

При прокаливании смеси солей разлагается нитрат калия, выделяется кислород (газ **Y**):



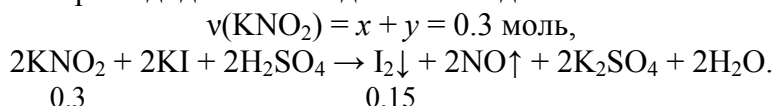
$$v(\text{O}_2) = 0.5y = \frac{1.202 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.05 \text{ моль,}$$

отсюда  $y = 0.1$  моль,  $x = 0.2$  моль. Массы солей в исходной смеси

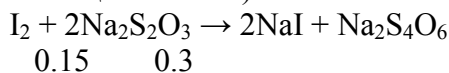
$$m(\text{KNO}_2) = 0.2 \cdot 85 = 17 \text{ г,}$$

$$m(\text{KNO}_3) = 0.1 \cdot 101 = 10.1 \text{ г.}$$

При добавлении к твердому остатку после прокаливании (нитрит калия) подкисленного серной кислотой раствора иодида калия выделяется иод:



Из-за выделения иода раствор приобретает темную окраску. Тиосульфат натрия реагирует с иодом (происходит обесцвечивание):



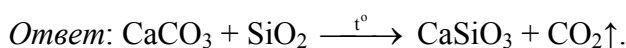
Значит, раствора тиосульфата потребуется

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = v / c = 0.3 / 0.5 = 0.6 \text{ л.}$$

*Ответ:* X – NH<sub>3</sub>, Y – O<sub>2</sub>; 17 г KNO<sub>2</sub> и 10.1 г KNO<sub>3</sub>; 0.6 л.

### Вариант 3

**1.4.** Приведите пример реакции, в ходе которой из соли и оксида получается другой оксид и другая соль. (4 балла)



**2.6.** Плотность по неону эквимольной смеси трех газов при н. у. равна 1.6. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? (6 баллов)

*Решение.* Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$\begin{array}{l} D_{\text{Ne}} = M_{\text{ср}} / M(\text{Ne}); \quad 1.6 = M_{\text{ср}} / 20 \\ M_{\text{ср}} = 32 \text{ г/моль.} \end{array}$$

$$M_{\text{ср}} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{\text{ср}} = 0.333(M_1 + M_2 + M_3)$$

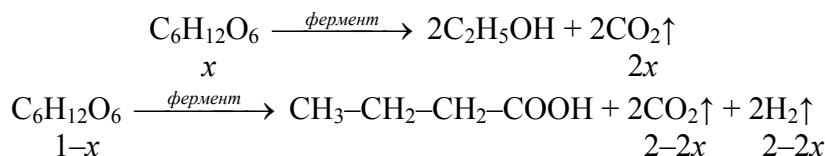
$$M_1 + M_2 + M_3 = 32 \cdot 3 = 96 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например, N<sub>2</sub> (28 г/моль), CO (28 г/моль) и Ar (40 г/моль).

*Ответ:* например, N<sub>2</sub>, CO и Ar.

**3.3.** Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида натрия ее объем уменьшился в 2.5 раза. Какая часть глюкозы превратилась в этанол? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

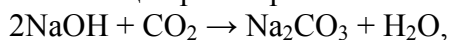
*Решение.* Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ полностью поглощен раствором NaOH:



а водород остался. Объем водорода по условию составил долю объема смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{2.5}$$

Отсюда получаем  $x = 0.333$ . Значит, в реакцию спиртового брожения вступило 33.3% глюкозы.

*Ответ:* 33.3%.

**4.2.** При растворении соли **A** в воде образовался оранжевый раствор. Добавление раствора гидроксида калия привело к изменению его окраски на желтую, а последующее добавление раствора хлорида стронция – к выпадению желтого осадка. При нагревании соли **A** с серой выделения газа не произошло, а цвет реакционной смеси стал темно-зеленым. После прокаливании **A** при 500°C образовался твердый остаток, масса которого составила 91.8% от массы исходного вещества. Установите соль **A**, напишите уравнения всех реакций.

**(12 баллов)**

*Решение.* Можно предположить, что соль **A** – растворимый дихромат щелочного металла или аммония (оранжевый цвет раствора из-за присутствия ионов  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). При подщелачивании цвет раствора меняется на желтый из-за образования хромат-ионов, а при добавлении хлорида стронция выпадает желтый осадок хромата стронция  $\text{SrCrO}_4$ .

При нагревании **A** с серой происходит восстановление дихромата до оксида хрома(III). Отсутствие выделения газа указывает на то, что **A** – соль щелочного металла, а не аммония.

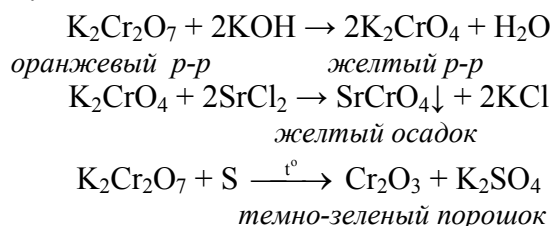
Расчетом можно подтвердить, что вещество **A** – соль калия:



$$M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294 \text{ г/моль}, M(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 194 \text{ г/моль}, M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152 \text{ г/моль}$$

$$\omega = \frac{152 + 2 \cdot 194}{2 \cdot 294} = 0.918 \text{ или } 91.8\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$

Уравнения реакций:



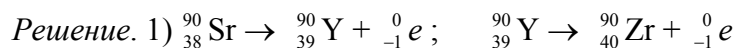
*Ответ:* соль **A** –  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

**5.3.** Радиоизотопные термоэлектрогенераторы – устройства, преобразующие кинетическую энергию  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц сначала в тепловую, а затем – в электрическую энергию. Генераторы на основе  $^{90}\text{Sr}$  используются в качестве автономного источника питания оборудования, расположенного в удаленных и труднодоступных районах. Период полураспада  $^{90}\text{Sr}$  составляет 28.7 лет, при ядерном превращении радионуклид подвергается двум последовательным  $\beta$ -распадам. Средняя кинетическая энергия первой  $\beta$ -частицы равна 187 кэВ, энергия второй частицы равна 904 кэВ ( $1 \text{ кэВ} = 1.602 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$ ). **(12 баллов)**

1) Запишите уравнения двух последовательных  $\beta$ -распадов радионуклида  $^{90}\text{Sr}$ .

2) Рассчитайте максимальный срок эксплуатации генератора, если он может использоваться до тех пор, пока его мощность не уменьшится на 30%.

3) Рассчитайте максимальную тепловую мощность (Вт) генератора, в котором находится 1492 г  $^{90}\text{SrTiO}_3$  ( $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ ). При расчете примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию.



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы  $m(t)$  радионуклида в момент времени  $t$  с начальной массой  $m_0$

$$m(t) = m_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

К моменту, когда мощность уменьшится на 30%, останется 70% от исходной массы радионуклида:

$$\frac{m(t)}{m_0} = 0.70 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{28.7}}$$

$$\lg 0.7 = \frac{t}{28.7} \lg 0.5$$

$$t = 14.77 \text{ лет.}$$

3) Выразим энергии  $\beta$ -частиц в джоулях:

$$E_1 = 187 \cdot 1.602 \cdot 10^{-16} = 299.57 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}; \quad E_2 = 904 \cdot 1.602 \cdot 10^{-16} = 1448.2 \cdot 10^{-16} \text{ Дж},$$

суммарная кинетическая энергия частиц:

$$E = E_1 + E_2 = (299.57 + 1448.2) \cdot 10^{-16} = 1747.78 \cdot 10^{-16} = 1.748 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$$

Тепловая мощность  $P$  генератора пропорциональна скорости распада (активности)  $A$ . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где  $N$  – число имеющихся в данный момент ядер, а  $\lambda$  – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада  $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{28.7 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 7.66 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{-1}.$$

$$M(^{90}\text{SrTiO}_3) = 186 \text{ г/моль},$$

$$\nu(^{90}\text{SrTiO}_3) = m/M = 1492 / 186 = 8.02 \text{ (моль)}.$$

Число ядер стронция-90:

$$N = \nu \cdot N_A = 8.02 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 48.28 \cdot 10^{23}$$

Тепловая мощность равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 1.748 \cdot 10^{-13} \cdot 7.66 \cdot 10^{-10} \cdot 48.28 \cdot 10^{23} = 646.4 \text{ Дж/с} = 646.4 \text{ Вт.}$$

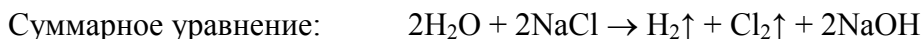
Ответ: 14.77 лет; 646.4 Вт.

**6.6.** Водный 2.5%-ный раствор хлорида натрия объемом 700 мл подвергали электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 1.8 А. Рассчитайте время проведения электролиза, если рН конечного раствора равен 12.4. Примите, что в ходе электролиза объем раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

*Решение.* Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора NaCl, а также полное уравнение электролиза:



≠



Из значения рН раствора находим молярную концентрацию ионов  $\text{OH}^-$ :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.4 = 1.6$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.6} = 0.025 \text{ моль/л}$$

Количество ионов  $\text{OH}^-$  в растворе:

$$\nu(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.025 \cdot 0.7 = 0.0175 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I} = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I}$$

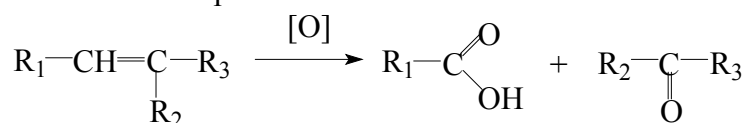
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов  $\text{OH}^-$  требуется 1 моль электронов, т. е.  $n = 1$ . Тогда

$$t = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I} = \frac{0.0175 \cdot 1 \cdot 96485}{1.8} = 938 \text{ с} = 15.6 \text{ мин.}$$

Ответ: 15.6 мин.

**7.5.** При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 9 г карбоновой кислоты **B** и 12.9 г кетона **B** симметричного строения (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объем раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

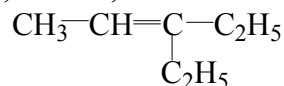


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{9}{M_1 + 45} = \frac{12.9}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду  $M_2 + M_3 - 1.433M_1 = 36.485$ .

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ( $\text{CH}_3 - 15$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$  и т.д.). Тожество получается при значениях  $M_1 = 15$ ,  $M_2 = M_3 = 29$ , значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ , а кетон **B** – формулу  $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$ . Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

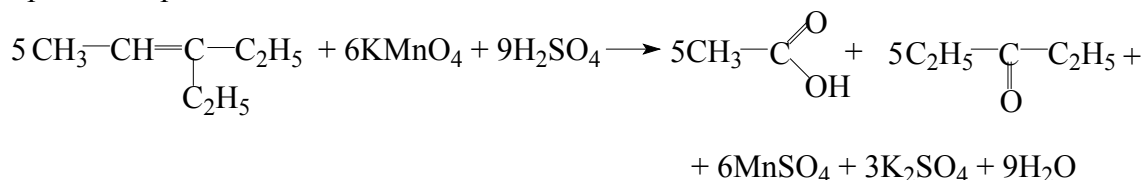
$$\frac{9}{14n + 32} = \frac{12.9}{14m + 16}.$$

Выразим  $m$  через  $n$ :

$$m = \frac{180.6n + 268.8}{126}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения  $n = 2$ ,  $m = 5$ , т.е. кислота  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  (уксусная), кетон  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$  (пентанон-3).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной уксусной кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$\nu(\text{B}) = \frac{m}{M} = \frac{9}{60} = 0.15 \text{ моль (75\%)},$$

$$\nu(\text{A}) = 0.15 / 0.75 = 0.2 \text{ моль.}$$

$$m(\text{A}) = 0.2 \cdot 98 = 19.6 \text{ г.}$$

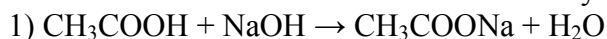
$$\nu(\text{KMnO}_4) = \nu(\text{A}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.24 \cdot 158 = 37.92 \text{ г,}$$

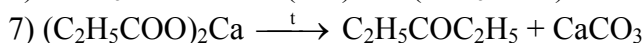
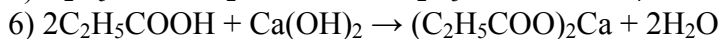
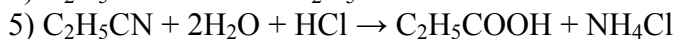
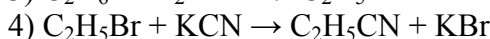
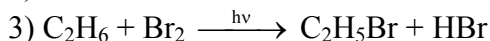
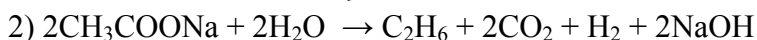
$$m(\text{p-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 379.2 / 1.1 = 344.7 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза пентанона из уксусной кислоты:



↙



(или в одну реакцию  $2\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{CaO} \xrightarrow{t} \text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_2\text{H}_5 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ).

Ответ: **А** – 3-этилпентен-3, **Б** – уксусная кислота, **В** – пентанон-3; 19.6 г; 344.7 мл.

**8.3.** При обработке смеси кристаллических хлората и бромата калия избытком концентрированной соляной кислоты выделился газ **X**, для полного поглощения которого потребовалось 625 мл 0.2 М раствора тиосульфата натрия. Для обесцвечивания оставшегося солянокислого раствора необходимо 0.240 л сернистого газа (1 атм, 20°C). Определите газ **X** и найдите массы солей в исходной смеси. При прокаливании такого же количества смеси при температуре 500°C в присутствии оксида марганца(IV) выделился газ **Y**. Определите газ **Y** и рассчитайте его объем (1 атм, 20°C). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

(20 баллов)

*Решение.* Обозначим количества вещества хлората и бромата калия за  $x$  и  $y$  моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с соляной кислотой образуется хлор (газ **X**):

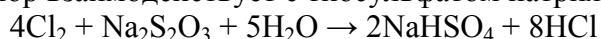


$$x \qquad \qquad \qquad 3x$$



$$y \qquad \qquad \qquad 2.5y \quad 0.5y$$

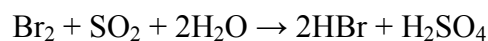
Выделившийся хлор взаимодействует с тиосульфатом натрия:



$$v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.2 \cdot 0.625 = 0.125 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Cl}_2) = 3x + 2.5y = 4 \cdot v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.5 \text{ моль.}$$

Солянокислый раствор, оставшийся после полного удаления хлора, окрашен благодаря содержащемуся в нем бром, который вступает в реакцию с сернистым газом (раствор обесцвечивается):



$$0.5y \quad 0.5y$$

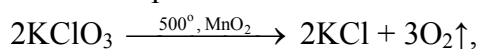
$$v(\text{SO}_2) = 0.5y = \frac{0.24 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.01 \text{ (моль).}$$

Отсюда  $y = 0.02$  моль,  $x = 0.15$  моль. Массы солей в исходной смеси

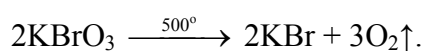
$$m(\text{KClO}_3) = 0.15 \cdot 122.5 = 18.375 \text{ г,}$$

$$m(\text{KBrO}_3) = 0.02 \cdot 167 = 3.34 \text{ г.}$$

При прокаливании смеси обе соли разлагаются с выделением кислорода (газ **Y**):



$$x \qquad \qquad \qquad 1.5x$$



$$y \qquad \qquad \qquad 1.5y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.5x + 1.5y = 0.255 \text{ моль,}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{0.255 \cdot 8.314 \cdot 293}{101.3} = 6.131 \text{ л.}$$

Ответ: X – Cl<sub>2</sub>; 18.375 г KClO<sub>3</sub> и 3.34 г KBrO<sub>3</sub>; Y – O<sub>2</sub>, 6.131 л.

## Вариант 4

**1.2.** Приведите пример реакции между простым веществом и оксидом, в ходе которой образуется другое простое вещество и другой оксид. **(4 балла)**

Ответ: Al + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2Fe (реакция алюмотермии).

**2.5.** Плотность по гелию эквимолярной смеси трех газов при н. у. равна 7.5. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? **(6 баллов)**

Решение. Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$D_{\text{He}} = M_{\text{cp}} / M(\text{He}); \quad 7.5 = M_{\text{cp}} / 4$$

$$M_{\text{cp}} = 30 \text{ г/моль.}$$

$$M_{\text{cp}} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{\text{cp}} = 0.3333(M_1 + M_2 + M_3)$$

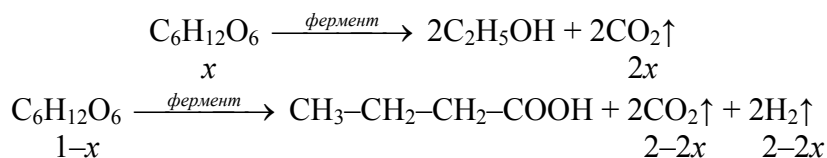
$$M_1 + M_2 + M_3 = 30 \cdot 3 = 90 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н. у.). Это могут быть, например, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (30 г/моль), H<sub>2</sub> (2 г/моль) и C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (58 г/моль).

Ответ: например, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, H<sub>2</sub> и C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>.

**3.1.** Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида калия ее объем уменьшился в 3 раза. Какая часть глюкозы превратилась в масляную кислоту? Запишите уравнения всех реакций. **(10 баллов)**

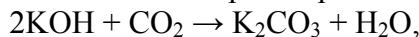
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ был полностью поглощен раствором KOH:



а водород остался. Объем водорода по условию составил третью часть объема смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{3}$$

Отсюда получаем  $x = 0.5$ . Значит, в обе реакции брожения вступили равные доли глюкозы (по 50%).

Ответ: 50%.

**4.1.** Не растворимую в воде соль А черного цвета растворили в концентрированной азотной кислоте, при этом выделился бурый газ и образовался бесцветный раствор, который исследовали на отношение к нитрату бария и хлориду натрия. В обоих случаях выпали белые осадки. После прокаливании соли А на воздухе образовался твердый остаток, масса которого составила 87.1% от массы исходного вещества. Установите соль А, напишите уравнения всех реакций. **(12 баллов)**

*Решение.* Можно предположить, что соль А – не растворимый в воде сульфид. Растворение сульфида в азотной кислоте приводит к выделению бурого оксида азота(IV) и образованию сульфат-ионов, на наличие которых указывает выпадение белого осадка при добавлении соли бария.

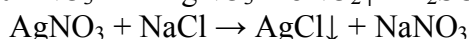
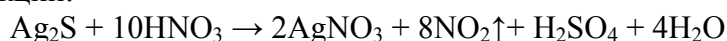
Бесцветность раствора, а также выпадение белого осадка при добавлении хлорида натрия позволяет предположить, что металл в составе сульфида А – это серебро. Это предположение подтверждается расчетом:

$$\text{Ag}_2\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Ag} + \text{SO}_2\uparrow$$

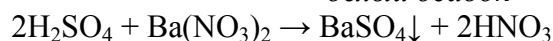
$$M(\text{Ag}_2\text{S}) = 248 \text{ г/моль}, M(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль},$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 108}{248} = 0.871, \text{ или } 87.1\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$

Уравнения реакций:



*белый осадок*



*белый осадок*

*Ответ:* соль А –  $\text{Ag}_2\text{S}$ .

**5.6.** Радиоизотопный термоэлектрогенератор на основе  $^{210}\text{PoO}_2$ , преобразующий кинетическую энергию выделяющихся  $\alpha$ -частиц в тепловую и затем – в электрическую, предполагают использовать в качестве автономного источника энергии в медицинских аппаратах. Тепловая мощность генератора, в который поместили 407 мг  $^{210}\text{PoO}_2$ , составила 50 Вт, а через 100 дней она уменьшилась до 30.257 Вт (1 Вт = 1 Дж/с).

1) Запишите уравнение  $\alpha$ -распада  $^{210}\text{Po}$ .

2) Определите период полураспада  $^{210}\text{Po}$ .

3) Рассчитайте кинетическую энергию  $\alpha$ -частицы, образующейся при распаде радионуклида, в единицах электрон-вольт (1 Дж =  $6.242 \cdot 10^{18}$  эВ). При расчете примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию. **(12 баллов)**



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы  $m(t)$  радионуклида в момент времени  $t$  с начальной массой  $m_0$

$$m(t) = m_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

К моменту  $t$  мощность уменьшилась с 50 до 30.257 Вт:

$$\frac{m(t)}{m_0} = \frac{30.257}{50} = 0.605 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{100}{t_{1/2}}}$$

$$\lg 0.605 = \frac{100}{t_{1/2}} \lg 0.5$$

$$t_{1/2} = 138 \text{ сут.}$$

3) Тепловая мощность  $P$  генератора пропорциональна скорости распада (активности)  $A$ . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где  $N$  – число имеющихся в данный момент ядер, а  $\lambda$  – постоянная распада (константа радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада  $t_{1/2}$



$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{138 \cdot 24 \cdot 3600} = 5.81 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}.$$

$$M(^{210}\text{PoO}_2) = 242 \text{ г/моль};$$

$$\nu(^{210}\text{PoO}_2) = 0.407 / 242 = 1.68 \cdot 10^{-3} \text{ моль},$$

Число ядер полония:

$$N = \nu \cdot N_A = 1.68 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 10.11 \cdot 10^{20}$$

Начальная тепловая мощность генератора равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 50 \text{ Вт},$$

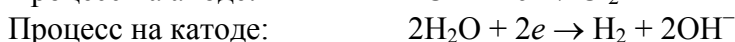
Отсюда кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы равна

$$E = \frac{P}{\lambda \cdot N} = \frac{50}{5.81 \cdot 10^{-8} \cdot 10.11 \cdot 10^{20}} = 8.49 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 5.30 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

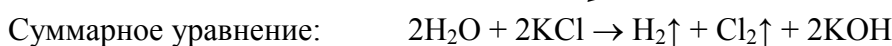
*Ответ:* 138 сут;  $5.30 \cdot 10^6$  эВ.

**6.3.** Водный 1.8%-ный раствор хлорида калия объёмом 750 мл подвергли электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 2.4 А. Рассчитайте время проведения электролиза, если рН конечного раствора равен 12.3. Примите, что в ходе электролиза объём раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

*Решение.* Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора КСl, а также полное уравнение электролиза:



↕



Из значения рН раствора находим молярную концентрацию ионов  $\text{OH}^-$ :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.3 = 1.7$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.7} = 0.020 \text{ моль/л}$$

Количество ионов  $\text{OH}^-$  в растворе:

$$\nu(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.020 \cdot 0.750 = 0.015 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I} = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I}.$$

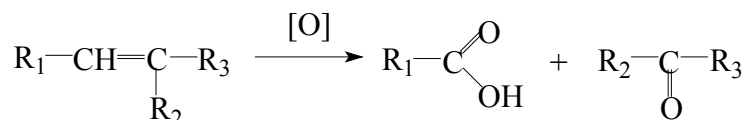
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов  $\text{OH}^-$  требуется 1 моль электронов, т. е.  $n = 1$ . Тогда

$$t = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I} = \frac{0.015 \cdot 1 \cdot 96485}{2.4} = 602 \text{ с} = 10 \text{ мин}.$$

*Ответ:* 10 мин.

**7.3.** При окислении алкена **А** подкисленным 10%-ным раствором дихромата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 19.8 г карбоновой кислоты **Б** неразветвленного строения и 13.05 г кетона **В** (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **А**, **Б** и **В**, вычислите массу **А**. Определите минимальный объём раствора дихромата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кислоты **Б** из кетона **В** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

*Решение.* Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

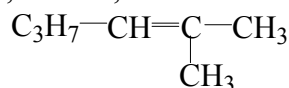


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{19.8}{M_1 + 45} = \frac{13.05}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду  $1.5172(M_2 + M_3) - M_1 = 2.517$ .

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ( $\text{CH}_3 - 15$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$  и т.д.). Тожество получается при значениях  $M_1 = 43$ ,  $M_2 = M_3 = 15$ , значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ , а кетон **B** – формулу  $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$ . Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

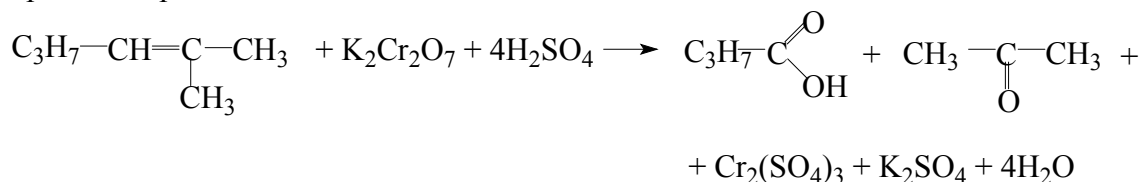
$$\frac{19.8}{14n + 32} = \frac{13.05}{14m + 16}.$$

Выразим  $m$  через  $n$ :

$$m = \frac{182.7n + 100.8}{277.2}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения  $n = 4$ ,  $m = 3$ , т.е. кислота  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  (бутановая), кетон  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  (ацетон).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной бутановой кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{B}) = \frac{m}{M} = \frac{19.8}{88} = 0.225 \text{ моль (75\%)},$$

$$v(\mathbf{A}) = 0.225 / 0.75 = 0.3 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{A}) = 0.3 \cdot 98 = 29.4 \text{ г.}$$

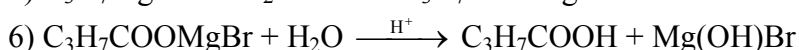
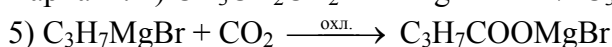
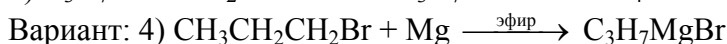
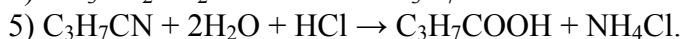
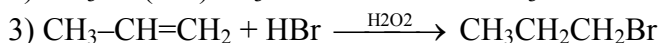
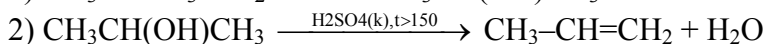
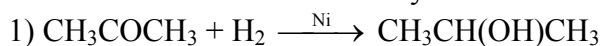
$$v(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = v(\mathbf{A}) = 0.3 \text{ моль,}$$

$$m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.3 \cdot 294 = 88.2 \text{ г,}$$

$$m(\text{p-ра}) = 88.2 / 0.1 = 882 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 882 / 1.1 = 801.8 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза бутановой кислоты из ацетона:

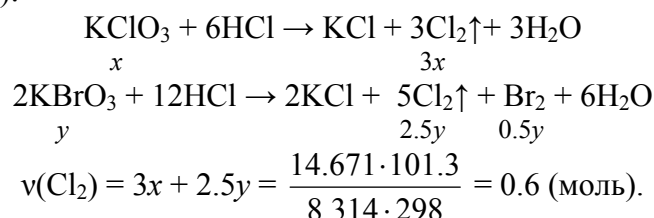


*Ответ:* **A** – 2-метилгексен-2, **B** – бутановая кислота, **B** – ацетон; 29.4 г; 801.8 мл.

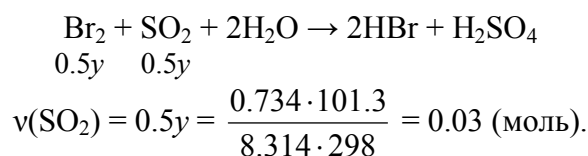
**8.1.** При обработке смеси кристаллических хлората и бромата калия избытком концентрированной соляной кислоты выделилось 14.671 л газа **X** (1 атм, 25°C). Для обесцвечивания оставшегося солянокислого раствора потребовалось 0.734 л сернистого газа

(1 атм, 25°C). Определите газ **X** и найдите массы солей в исходной смеси. Газ **X** полностью поглотили охлаждённым раствором гидроксида кальция с образованием белой взвеси. При нагревании этой взвеси с избытком концентрированного водного раствора аммиака образовался газ **Y**. Определите газ **Y** и рассчитайте его объем (1 атм, 25°C). Напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(20 баллов)**

*Решение.* Обозначим количества вещества хлората и бромата калия за  $x$  и  $y$  моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с концентрированной соляной кислотой образуется хлор (газ **X**):



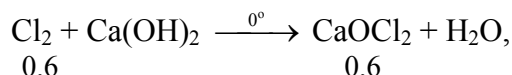
Солянокислый раствор, оставшийся после полного удаления хлора, окрашен благодаря содержащемуся в нем бром, который вступает в реакцию с сернистым газом (раствор обесцвечивается):



Отсюда получаем  $y = 0.06$  моль,  $x = 0.15$  моль. Массы солей в исходной смеси

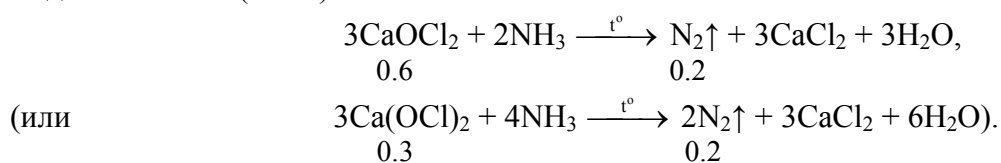
$$\begin{aligned} m(\text{KClO}_3) &= 0.15 \cdot 122.5 = 18.375 \text{ г}, \\ m(\text{KBrO}_3) &= 0.06 \cdot 167 = 10.02 \text{ г}. \end{aligned}$$

При поглощении хлора холодным раствором гидроксида кальция образуется хлорная известь в виде белой взвеси:



или по-другому:  $2\text{Cl}_2 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{0^\circ} \text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{OCl})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Хлорная известь – сильный окислитель, она при нагревании окисляет аммиак, при этом выделяется азот (газ **Y**):



$$\begin{aligned} \nu(\text{N}_2) &= 0.2 \text{ моль}, \\ V(\text{N}_2) &= \frac{0.2 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 4.890 \text{ л}. \end{aligned}$$

*Ответ:* **X** –  $\text{Cl}_2$ ; 18.375 г  $\text{KClO}_3$  и 10.02 г  $\text{KBrO}_3$ ; **Y** –  $\text{N}_2$ , 4.890 л.