

## Решение варианта 4

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

*Ответ:*  $\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$  (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:

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

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

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

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

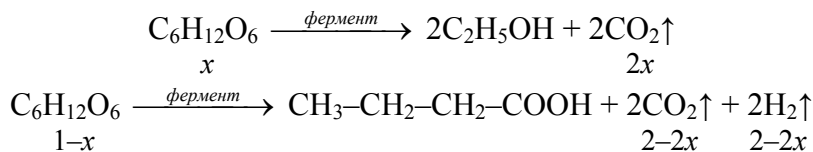
$$M_1 + M_2 + M_3 = 30 \cdot 3 = 90 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например,  $\text{C}_2\text{H}_6$  (30 г/моль),  $\text{H}_2$  (2 г/моль) и  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  (58 г/моль).

*Ответ:* например,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

**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)

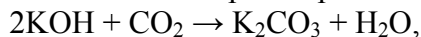
*Решение.* Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



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 **A** 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 **A** на воздухе образовался твердый остаток, масса которого составила 87.1% от массы исходного вещества. Установите соль **A**, напишите уравнения всех реакций. (12 баллов)

*Решение.* Можно предположить, что соль **A** – 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.

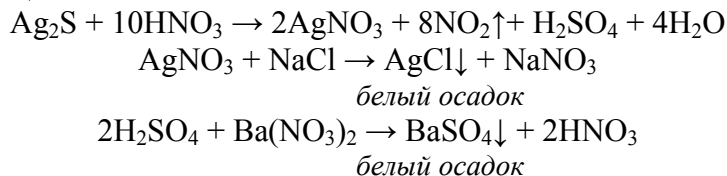
Бесцветность раствора, а также выпадение белого осадка при добавлении хлорида натрия позволяет предположить, что металл в составе сульфида А – это серебро. Это предположение подтверждается расчетом:

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

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

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

Уравнения реакций:



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)**

Решение. 1)  $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$ .

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:

$$\begin{aligned} \frac{m(t)}{m_0} &= \frac{30.257}{50} = 0.605 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{100}{t_{1/2}}} \\ \lg 0.605 &= \frac{100}{t_{1/2}} \lg 0.5 \\ t_{1/2} &= 138 \text{ сут.} \end{aligned}$$

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  $t_{1/2}$

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

$$\begin{aligned} M(^{210}\text{PoO}_2) &= 242 \text{ г/моль}; \\ v(^{210}\text{PoO}_2) &= 0.407 / 242 = 1.68 \cdot 10^{-3} \text{ моль}, \end{aligned}$$

Число ядер полония:

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

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 объемом 750 мл подвергали электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 2.4 А. Рассчитайте время проведения электролиза, если pH конечного раствора равен 12.3. 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 KCl, а также полное уравнение электролиза:

Процесс на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2$

Процесс на катоде:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

$\rightleftharpoons$

Суммарное уравнение:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{KCl} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{KOH}$

Из значения pH 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:

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

Из закона Фарадея

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

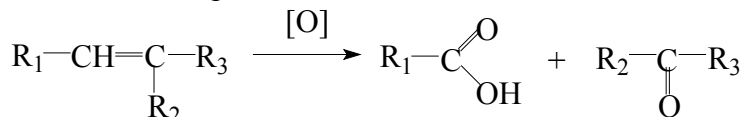
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов  $\text{OH}^-$  требуется 1 моль электронов, т. е.  $n = 1$ . Тогда

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

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 объем 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:

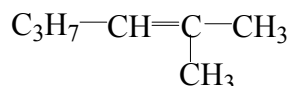


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

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

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 **А** имеет следующую структуру:



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

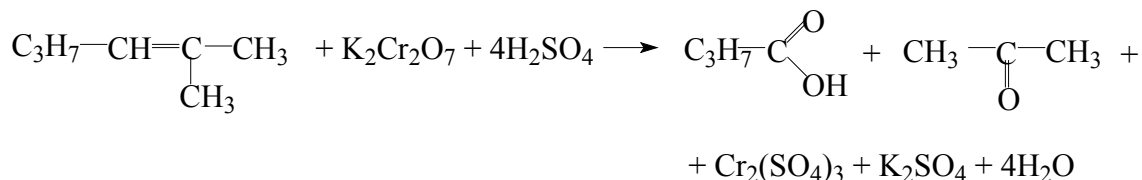
$$\frac{19.8}{14n + 32} = \frac{13.05}{14m + 16}.$$

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 **Б** и, затем, массу алкена:

$$\nu(\text{Б}) = \frac{m}{M} = \frac{19.8}{88} = 0.225 \text{ моль (75\%)},$$

$$\nu(\text{А}) = 0.225 / 0.75 = 0.3 \text{ моль.}$$

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

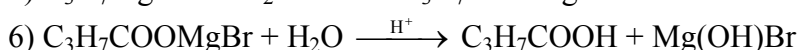
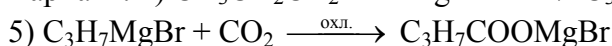
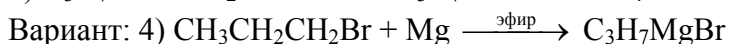
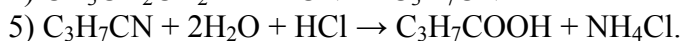
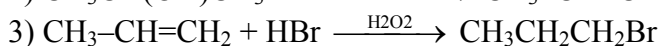
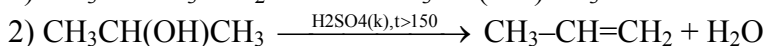
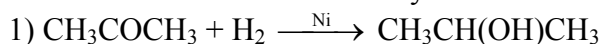
$$\nu(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \nu(\text{А}) = 0.3 \text{ моль,}$$

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

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

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

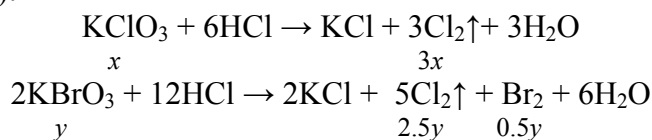
Возможный способ синтеза бутановой кислоты из ацетона:



Ответ: **А** – 2-метилгексен-2, **Б** – бутановая кислота, **В** – ацетон; 29.4 г; 801.8 мл.

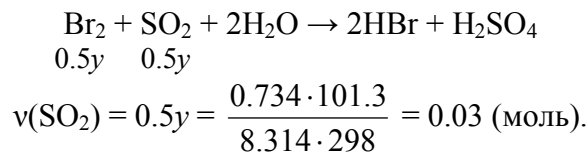
**8.1.** При обработке смеси кристаллических хлората и бромата калия избытком концентрированной соляной кислоты выделилось 14.671 л газа **Х** (1 атм, 25°C). Для обесцвечивания оставшегося солянокислого раствора потребовалось 0.734 л сернистого газа (1 атм, 25°C). Определите газ **Х** и найдите массы солей в исходной смеси. Газ **Х** полностью поглотили охлаждённым раствором гидроксида кальция с образованием белой взвеси. При нагревании этой взвеси с избытком концентрированного водного раствора аммиака образовался газ **У**. Определите газ **У** 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 **Х**):



$$v(\text{Cl}_2) = 3x + 2.5y = \frac{14.671 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 298} = 0.6 \text{ (моль)}.$$

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

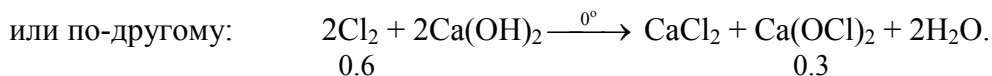
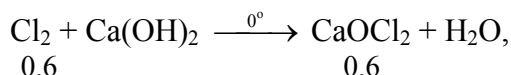


Отсюда получаем  $y = 0.06$  моль,  $x = 0.15$  моль. Массы солей в исходной смеси

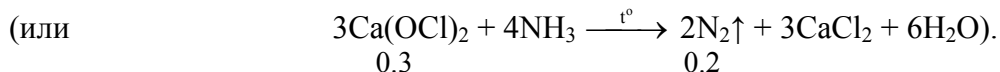
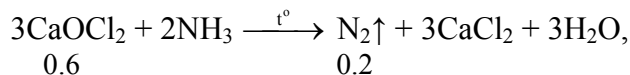
$$m(\text{KClO}_3) = 0.15 \cdot 122.5 = 18.375 \text{ г},$$

$$m(\text{KBrO}_3) = 0.06 \cdot 167 = 10.02 \text{ г}.$$

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



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



$$v(\text{N}_2) = 0.2 \text{ моль},$$

$$V(\text{N}_2) = \frac{0.2 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 4.890 \text{ л}.$$

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.

