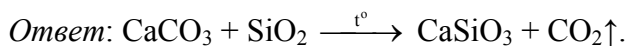


Решение варианта 3

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 эквимолярной 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:

$$D_{\text{Ne}} = M_{\text{ср}} / M(\text{Ne}); \quad 1.6 = M_{\text{ср}} / 20$$

$$M_{\text{ср}} = 32 \text{ г/моль.}$$

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

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

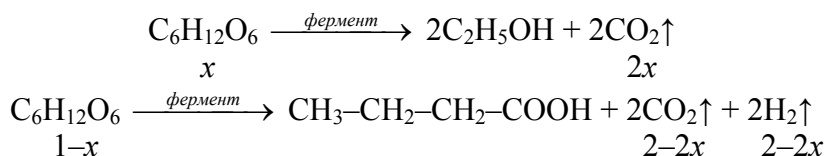
$$M_1 + M_2 + M_3 = 32 \cdot 3 = 96 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например, N_2 (28 г/моль), CO (28 г/моль) и Ar (40 г/моль).

Ответ: например, N_2 , 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)

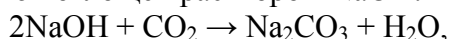
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



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 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.

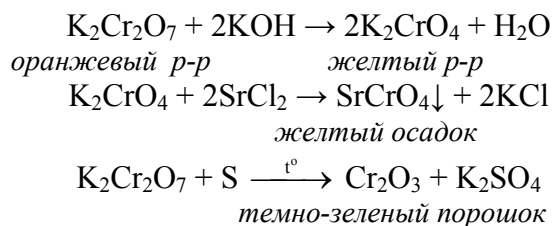
Расчетом можно подтвердить, что вещество **A** – соль калия:



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

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

Уравнения реакций:



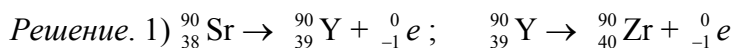
Ответ: соль **A** – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

5.3. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы – устройства, преобразующие кинетическую энергию α - или β -частиц сначала в тепловую, а затем – в электрическую энергию. Генераторы на основе ^{90}Sr используются в качестве автономного источника питания оборудования, расположенного в удаленных и труднодоступных районах. Период полураспада ^{90}Sr составляет 28.7 лет, при ядерном превращении радионуклид подвергается двум последовательным β -распадам. Средняя кинетическая энергия первой β -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 β -распадов радионуклида ^{90}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:

$$\begin{aligned} \frac{m(t)}{m_0} &= 0.70 = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{28.7}} \\ \lg 0.7 &= \frac{t}{28.7} \lg 0.5 \\ t &= 14.77 \text{ лет.} \end{aligned}$$

3) Выразим энергии β -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 λ – 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

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

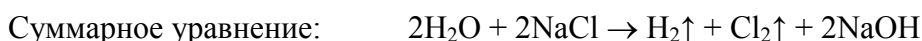
Ответ: 14.77 лет; 646.4 Вт.

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 pH 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 pH раствора находим молярную концентрацию ионов 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 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

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

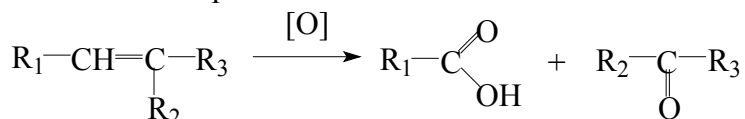
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

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

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:

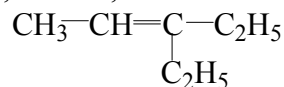


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

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

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**:

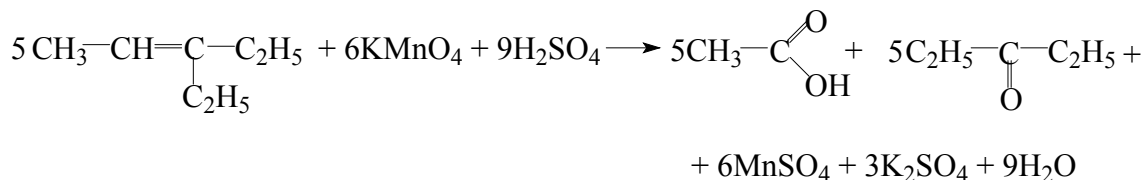
$$\frac{9}{14n + 32} = \frac{12.9}{14m + 16}.$$

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:

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

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

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

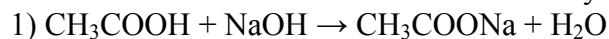
$$\nu(\text{KMnO}_4) = \nu(\text{A}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

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

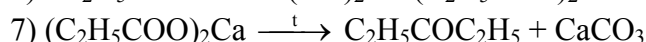
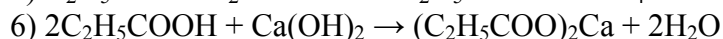
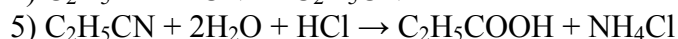
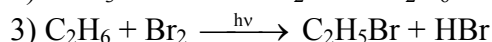
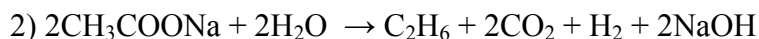
$$m(\text{p-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

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

Возможный способ синтеза пентанона из уксусной кислоты:



↗

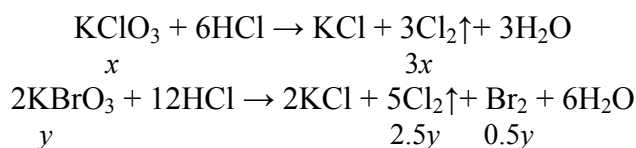


(или в одну реакцию $2\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{CaO} \xrightarrow{t} \text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_2\text{H}_5 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$).

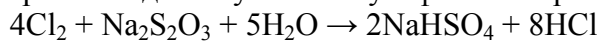
Ответ: **A** – 3-этилпентен-3, **B** – уксусная кислота, **B** – пентанон-3; 19.6 г; 344.7 мл.

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.

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**):



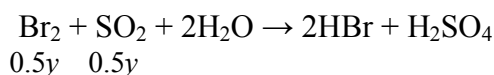
Выделившийся хлор взаимодействует с тиосульфатом натрия:



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

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

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



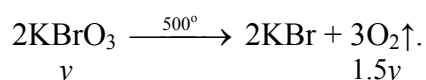
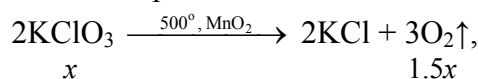
$$v(\text{SO}_2) = 0.5y = \frac{0.24 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.01 \text{ (моль)}.$$

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**):



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

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

Ответ: **X** – Cl_2 ; 18.375 г KClO_3 и 3.34 г KBrO_3 ; **Y** – O_2 , 6.131 л.

