

Решение варианта 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:

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

$$M_{cp} = 40 \text{ г/моль.}$$

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

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

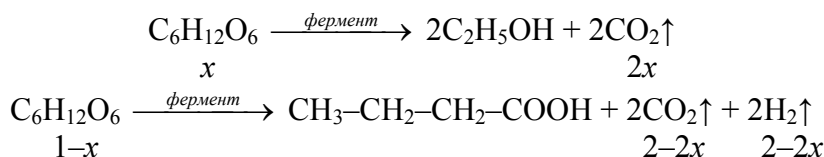
$$M_1 + M_2 + M_3 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ г/моль.}$$

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)

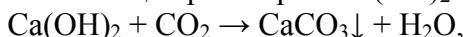
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



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.

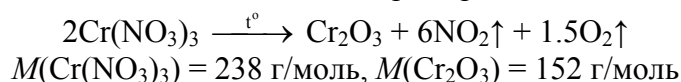
Ответ: 25%.

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.

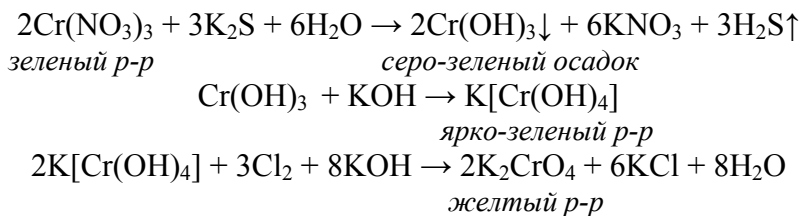
(12 баллов)

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:



$$\omega = \frac{152}{2 \cdot 238} = 0.319 \text{ или } 31.9\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$



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

5.4. Оксид одного из долгоживущих изотопов кюрия, $^{244}\text{CmO}_2$, является «ядерным топливом» в радиоизотопных электрогенераторах – устройствах, преобразующих кинетическую энергию α -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 α -распада кюрия-244.
- 2) Определите период полураспада ^{244}Cm .
- 3) Рассчитайте среднюю кинетическую энергию α -частиц, образующихся при распаде радионуклида, в единицах электрон-вольт ($1 \text{ Дж} = 6.242 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$). 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 2125 Вт:

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

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

$$t_{1/2} = 18.0 \text{ лет.}$$

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

$$A \equiv \lambda N,$$

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

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

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

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

Число ядер кюрия-244:

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

Начальная тепловая мощность генератора равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 2386 \text{ B}_T.$$

Отсюда кинетическая энергия α -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 подвергали 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:

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

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

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

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

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

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

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

Найдем молярную концентрацию ионов OH^- в растворе:

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

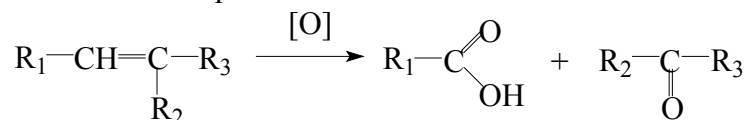
$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = 1.75$$

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

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:

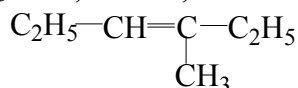


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

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

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 **Б** имеет формулу $C_nH_{2n}O_2$, а кетон **В** – формулу $C_mH_{2m}O$. Тогда из равенства количеств **Б** и **В**:

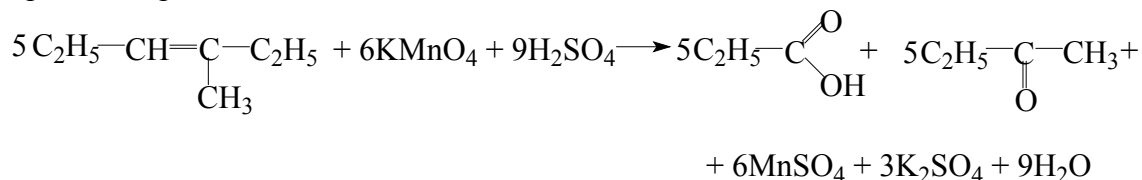
$$\frac{11.1}{14n + 32} = \frac{10.8}{14m + 16}.$$

Выразим m через n :

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

Перебором значений получаем целочисленные значения $n = 3$, $m = 4$, т.е. кислота $C_3H_6O_2$ (пропионовая), кетон C_4H_8O (бутанон).

Уравнение реакции окисления алкена:



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

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

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

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

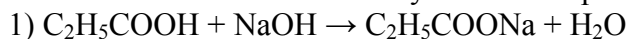
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\text{А}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

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

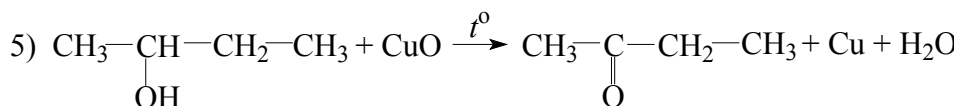
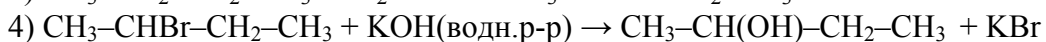
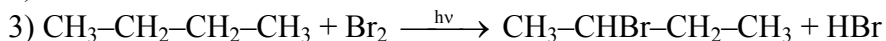
$$m(\text{р-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

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

Возможный способ синтеза бутанона из пропионовой кислоты:



↗

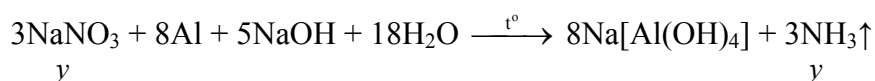
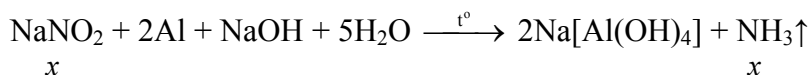


Ответ: **А** – 3-метилгексен-3, **Б** – пропионовая кислота, **В** – бутанон; 19.6 г; 344.7 мл.

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 **Х** (1 атм, 28°C). Прокаливание при 500°C такого же количества исходной смеси солей привело к выделению 1.235 л газа **У** (1 атм, 28°C). Определите газы **Х** и **У**, а также массы солей в исходной смеси. Остаток после прокаливания 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.

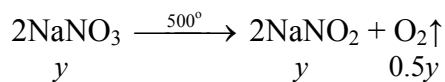
(20 баллов)

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 **Х**):



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

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



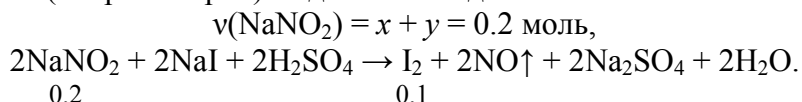
$$v(\text{O}_2) = 0.5y = \frac{1.235 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 301} = 0.05 \text{ моль.}$$

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

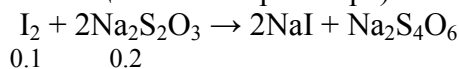
$$m(\text{NaNO}_2) = 0.1 \cdot 69 = 6.9 \text{ г,}$$

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

При добавлении подкисленного 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 – NH₃, Y – O₂; 6.9 г NaNO₂ и 8.5 г NaNO₃; 0.667 л.

