

Решение варианта 2

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

Ответ: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{BaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$.

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:

$$D_{\text{H}_2} = M_{\text{ср}} / M(\text{H}_2); \quad 19 = M_{\text{ср}} / 2$$

$$M_{\text{ср}} = 38 \text{ г/моль.}$$

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

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

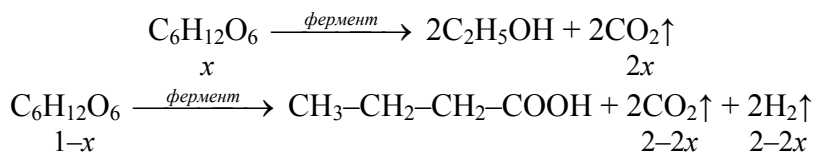
$$M_1 + M_2 + M_3 = 38 \cdot 3 = 114 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например, CO_2 (44 г/моль), N_2 (28 г/моль) и C_3H_6 (42 г/моль).

Ответ: например, CO_2 , N_2 и C_3H_6 .

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 раза. Какая часть глюкозы превратилась в этанол? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

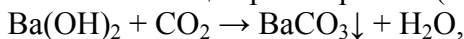
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

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

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



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

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

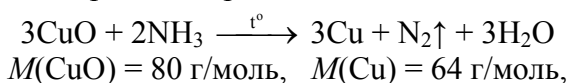
Отсюда получаем $x = 0.8$. Значит, в реакцию спиртового брожения вступило 80% глюкозы.

Ответ: 80%.

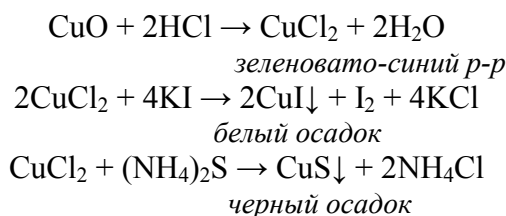
4.6. Не растворимый в воде оксид А черного цвета растворили при нагревании в соляной кислоте, при этом образовался зеленовато-синий раствор. Добавление к полученному раствору раствора иодида калия приводит к выпадению белого осадка, а добавление сульфида аммония – к выпадению черного осадка. После пропускания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

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

Это предположение подтверждается расчетом:



$$\omega = \frac{64}{80} = 0.80 \text{ или } 80.0\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$



Ответ: оксид А – CuO.

5.1. Радиоизотопные термоэлектродгенераторы – 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}Cm равен 18 лет. Каждое ядро ^{244}Cm при распаде испускает одну α -частицу со средней кинетической энергией $5.79 \cdot 10^6$ электрон-вольт ($1 \text{ эВ} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

1) Запишите уравнение α -распада ^{244}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 ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$).

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 α -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 λ – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада $t_{1/2}$

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

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

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

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

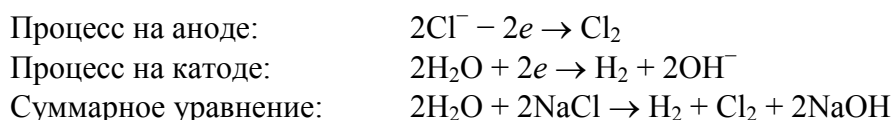
$$M(^{244}\text{CmO}_2) = 276 \text{ г/моль,}$$

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

Ответ: 4.22 лет, 485.8 г.

6.2. Водный 3.6%-ный раствор хлорида натрия объемом 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 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 концентрацию ионов 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 OH^- в растворе:

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

Из закона Фарадея

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

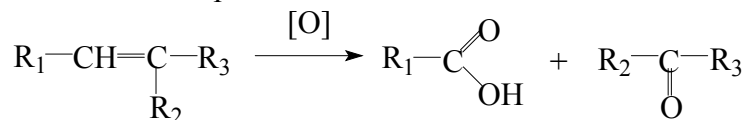
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

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

Ответ: 3.04 А.

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

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:



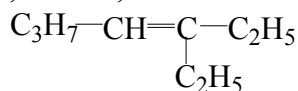
Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

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

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**:

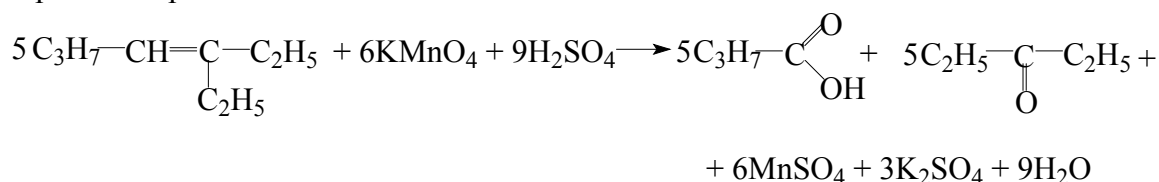
$$\frac{10.56}{14n + 32} = \frac{10.32}{14m + 16}.$$

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 **B** и, затем, массу алкена:

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

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

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

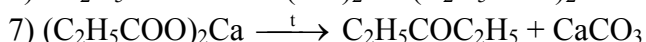
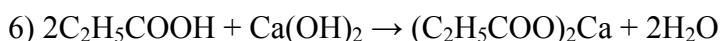
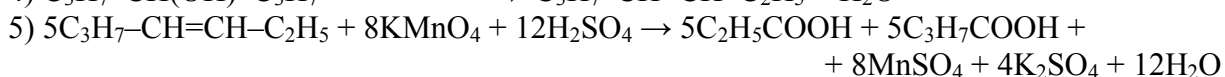
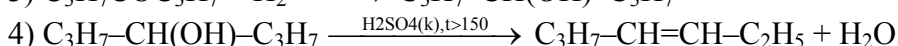
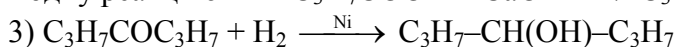
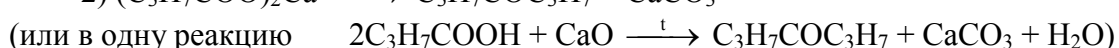
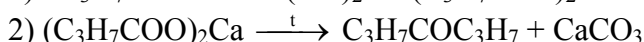
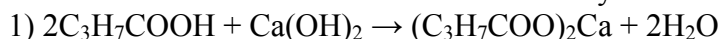
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\text{A}) \cdot 6 / 5 = 0.18 \text{ моль,}$$

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

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

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

Возможный способ синтеза пентанона из бутановой кислоты:

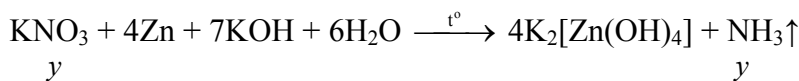
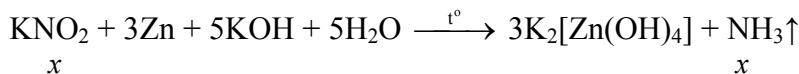


(или снова в одну реакцию с оксидом кальция или бария).

Ответ: **A** – 3-этилгептен-3, **B** – бутановая кислота, **B** – пентанон-3; 18.9 г; 258.5 мл.

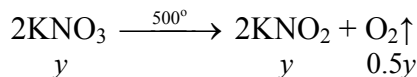
8.2. При обработке смеси кристаллических нитрита и нитрата калия избытком концентрированного раствора гидроксида калия в присутствии цинка при нагревании выделилось 7.212 л газа **X** (1 атм, 20°C). Такое же количество исходной смеси солей прокалили при 500°C, что привело к выделению 1.202 л газа **Y**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

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):



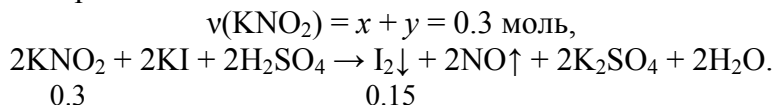
$$v(\text{O}_2) = 0.5y = \frac{1.202 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.05 \text{ моль},$$

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

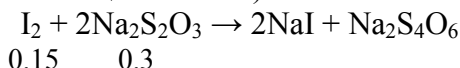
$$m(\text{KNO}_2) = 0.2 \cdot 85 = 17 \text{ г},$$

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

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 – NH₃, Y – O₂; 17 г KNO₂ и 10.1 г KNO₃; 0.6 л.

